



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA EM DIFERENTES BIOMAS BRASILEIROS

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/CNPq/INPE)**

Emily Ane Dionizio da Silva (FATEA, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: emily.silva@inpe.br

Dr. Celso Von Randow (CCST/INPE, Orientador)
E-mail: celso.vonrandow@inpe.br

COLABORADORES

Dr. Jorge Alberto Bustamante Becerra (CCST/INPE)
Suzana Maria Inácio de Carvalho (CCST/INPE)

Junho, 2010

Aos meus pais,
pelo amor incondicional.

...a vida não é uma sonata que, para realizar a sua beleza, tem que ser tocada até o fim. Dei-me conta, ao contrário, que a vida é um álbum de minissonatas. Cada momento de beleza vivido e amado, por efêmero que seja, é uma experiência completa que está destinada à eternidade. Um único momento de beleza e amor justifica a vida inteira...

(Rubem Alves)

AGRADECIMENTOS

Acima de tudo, à Deus pelo discernimento, calma e perseverança a mim concedido diante das dificuldades.

Ao meu Orientador Dr. Celso von Randow pela oportunidade de desenvolver este projeto, pela grande paciência diante dos meus pedidos e questionamentos, e principalmente por acreditar em mim.

A meu co-orientador Dr. Jorge Alberto Bustamante Becerra por todo seu incentivo, paciência e partilhamento do conhecimento. Pelas palavras de conforto e soluções diante dos imprevistos ao longo do projeto, e pela oportunidade de adquirir novos conhecimentos na sua área de atuação.

A todos os pesquisadores do CST/INPE, que se fizeram exemplos e sempre com muito empenho e dedicação compartilharam seus conhecimentos para que eu pudesse desenvolver os meus. Em especial ao Dr. Gilvan, por me receber tão bem e por sempre demonstrar interesse na formação de novos pesquisadores, incentivando e buscando recursos para desenvolvimento de projetos e pesquisas de qualidade.

A todos meus colegas de trabalho, em especial Suzana, sempre muito presente nessa jornada, seja com uma palavra de apoio, seja pegando no pesado.

Aos professores Eduardo e Cristiane Malvezzi, por acreditarem no meu potencial e abrirem as portas do laboratório de microbiologia, o que foi o “pontapé” inicial para a chegada até o INPE.

Ao meu amado Danilo, por todo seu amor e carinho. Por toda paciência diante das minhas longas explanações sobre o trabalho, pelas palavras de conforto e pela disposição de ajudar sempre no que fosse possível.

A minha família pelo carinho, amor, e toda educação ministrada.

Ao PIBIC, pela concessão da bolsa de iniciação científica e ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, por oferecer toda infra-estrutura necessária para o desenvolvimento do projeto.

Enfim, agradeço a todos que mesmo aqui não referidos de alguma maneira contribuíram direta ou indiretamente para a construção desse sonho.

RESUMO

A eficiência do uso da água (EUA), dada pela razão entre a assimilação de carbono e a perda de água no processo de fotossíntese, é uma importante característica fisiológica das plantas, pois a água exerce influência em diversos processos biogeofísicos e biogeoquímicos. O presente projeto tem como objetivo avaliar a EUA nos biomas Amazônico e Cerrado, utilizando o modelo de superfície IBIS. O IBIS é um modelo de biosfera terrestre pertencente à nova geração de modelos de superfície que considera as mudanças na composição e estrutura da vegetação em resposta a mudanças ambientais. Testamos as versões pontual (0D) e bidimensional (2D) do modelo para a Amazônia, e 2D para o Cerrado. Na versão 0D, o modelo foi ajustado com parâmetros de calibração e dados climatológicos específicos para Manaus-AM, utilizando valores observados, fornecidos por uma torre micrometeorológica do programa LBA. Elaboramos então um cenário representativo dos fluxos mensais de carbono na região com dados de troca líquida do ecossistema (NEE), produção primária bruta (GPP), respiração do ecossistema (Reco), e evapotranspiração (ET), correspondentes aos anos de 2000 a 2002 e 2005 a 2007, que posteriormente foram usados como referência para avaliar os dados simulados, permitindo avaliar a representação do bioma e a acurácia do modelo em simular situações reais. Na versão 2D, o modelo simulou uma faixa de grade correspondente à América do Sul, da qual extraímos dados referentes a pontos representativos dos biomas em estudo. Baseando-se nos dados observados e simulados, calculamos a EUA referente ao ecossistema, assumindo que a taxa de assimilação (GPP) equivale à taxa de difusão de moléculas de CO₂ para o interior da folha, e a taxa de transpiração (ET), equivale à taxa de difusão de H₂O para fora da folha, e, desta forma $EUA = GPP/ET$. Na versão 0D, o modelo apresentou dificuldade em simular a variabilidade mensal dos fluxos na Amazônia, apresentando um forte estresse hídrico durante a estação seca que não é observado, influenciando os valores de GPP, ET e NEE. Na versão 2D por sua vez, há uma melhora nesta representação, onde os picos de produtividade ocorrem durante a estação seca e diminuição durante a época de chuvas. Para o Cerrado o modelo 2D simulou valores de NPP com grande variação sazonal, em

resposta à variação climática da região e a variação de NEE e GPP. A EUA observada e simulada para a Amazônia apresentou uma tendência em diminuir durante a estação seca, enquanto os valores simulados para o Cerrado mostraram uma tendência em aumentar. Para trabalhos futuros, recomenda-se analisar em mais detalhe como a representação da umidade do solo influencia a sazonalidade destas variáveis nos dois biomas.

ABSTRACT

The Water Use Efficiency (WUE), given by the ratio of assimilation of carbon to the lost of water in plant photosynthesis processes, is a relevant physiological characteristic of plants, as the water plays an important role in many biogeophysical and biogeochemical processes. This project has the objective of evaluating the WUE in the biomes of Amazonia and Cerrado, using the surface model IBIS. IBIS is a terrestrial biosphere model of a new generation of surface models that simulates dynamic changes in composition and structure of vegetation in response to environmental changes. We tested the site-level (0D) and bidimensional (2D) versions of the model for Amazonia and the 2D version for the Cerrado. In the 0D version, the model was adjusted with calibrated parameters and climatological conditions for Manaus, AM, using observations from a micrometeorological tower of the LBA program. We composed an average yearly cycle with monthly averages of net ecosystem exchange (NEE), gross primary production (GPP), ecosystem respiration (Reco) and evapotranspiration (ET), obtained in years 2000 to 2002 and 2005 to 2007, which were later used as reference to evaluate the simulation of the biome and the performance of the model to simulate the actual conditions. In the 2D version, the model simulated a domain covering South America, where we extracted grid points representative of the biomes in study. Based on the observed and simulated data, we calculated the ecosystem WUE, assuming that GPP corresponds to the rate of diffusion of CO₂ molecules into the leaves, and the ET corresponds to the rate of diffusion of H₂O molecules outside of the leaves, and therefore $WUE = GPP / ET$. In the 0D version the model presented difficulty in simulating the monthly variability of fluxes in Amazonia, showing a strong drought stress during the dry season that is not observed. This influences the simulations of GPP, ET and NEE. In the 2D version there is improvement in this representation, where productivity is not reduced during the dry season, as usually observed in the rain forests. For the Cerrado, the 2D model simulated NPP with large seasonal variations in response to the climatic variability in the region and variations in NEE and GPP. The observed and simulated WUE in Amazonia trended to diminish during the dry season, while

simulated values in the Cerrado trended to increase. For future studies, we recommend to analyze in more detail how the representation of soil moisture and water stress is influencing the seasonal variability of these variables in both biomes.

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Ilustração da ciclagem global de carbono entre a biosfera e atmosfera. As setas em preto representam o ciclo do carbono no período pré - industrial; as setas em vermelho representam os fluxos de origem antropogênica, na década de 1990.	5
Figura 2 Pontos de resistência difuso do CO ₂ do exterior da folha para os cloroplastos, e da saída das moléculas de água do interior da folha. O poro estomático o ponto de maior resistência a ambas as difusões.	10
Figura 3 Localização dos sítios de pesquisa LBA na Floresta.	13
Figura 4 Localização do sítio experimental LBA K34, em Cuieiras - AM e Foto da torre micrometeorológica - K34.	14
Figura 5 Estrutura básica do modelo IBIS com as características dos processos do modelo de ecossistema terrestre.	15
Figura 6 Observações e simulações do modelo IBIS de a) troca líquida do ecossistema (NEE), b) produção primária bruta (GPP), c) evapotranspiração (ET), d) respiração do ecossistema (Reco), para o sítio experimental K34. A estação seca em cada figura é representada pelas áreas sombreadas em amarelo.	20
Figura 7 Totais anuais observados e simulados com o IBIS, a) produção primária bruta (GPP), b) Troca líquida do ecossistema (NEE), c) Respiração do ecossistema (Reco), e d) Evapotranspiração (ET)	22

Figura 8	Representação temporal da eficiência do uso da água observada e simulada pelo modelo IBIS em modo de vegetação estática e dinâmica. As colunas em amarelo representam à estação seca dos anos correspondentes.	23
Figura 9	Representação temporal da eficiência do uso da água (EUA) e eficiência do uso da água inerente (EUAI), que leva em consideração o déficit de pressão de vapor (DPV). As colunas em amarelo representam a estação seca dos anos correspondentes.....	24
Figura 10	Relações entre os valores mensais de GPP e ET observadas no sítio experimental de floresta primária, K34, em Manaus, AM.....	25
Figura 11	Totais mensais simulados pelo modelo IBIS- 2D na Amazônia de: a) troca líquida do ecossistema (NEE), b) produção primária bruta (GPP), c) evapotranspiração (ET), d) respiração do ecossistema (Reco), para o sítio experimental K34.	26
Figura 12	Totais mensais simulados pelo modelo IBIS- 2D no Cerrado ; a) troca líquida do ecossistema (NEE), b) produção primária bruta (GPP), c) evapotranspiração (ET), d) produção primária líquida (NPP), para o sítio experimental K34.	28
Figura 13	Valores mensais da eficiência no uso da água simulados pelo modelo de biosfera IBIS-2D nos biomas a) Amazônico e b) Cerrado.....	29
Figura 14	Relações encontradas entre a Evapotranspiração e a Produtividade encontradas nas simulações do modelo IBIS-2D para os dois biomas em estudo.	29

LISTA DE TABELAS

	Pág.
Tabela 1 Parâmetros de calibração propostos por IMBUZEIRO (2005), para o sítio experimental K34, em Manaus – AM.	17

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ATP - Adenosina Tri-fosfato

TFPs – Tipos Funcionais de Plantas

IBIS- Simulador Integrado da Biosfera

IPCC- Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas

LBA- Experimento de Larga Escala na Biosfera Atmosfera na Amazônia

NADPH₂- Nicotinamida Adenina Dinucleótido Fosfato

RUBISCO- Ribulose-bisfosfato Carboxilase Oxigenase

VOCs- Compostos Orgânicos Voláteis

LISTA DE SÍMBOLOS

S_{in}	radiação solar incidente ($W.m^{-2}$)
L_{in}	radiação de onda longa incidente ($W.m^{-2}$)
T_a	temperatura do ar ($^{\circ}C$)
q_a	umidade específica do ar ($g.kg^{-1}$)
u_a	velocidade do vento ($m.s^{-1}$)
P	precipitação (mm)
β_2	Parâmetro de distribuição das raízes finas (adimensional)
V_{max}	Capacidade máxima da enzima Rubisco ($\mu mol m^{-2} s^{-1}$)
Coefm	Coefficiente angular da relação fotossíntese-condutância estomática
CHS	Capacidade térmica dos galhos no dossel ($J m^{-2} ^{\circ}C^{-1}$)
z_{top}	Altura do dossel (m)
LE	Fluxo de Calor Latente ($W.m^{-2}$)
DPV	déficit de pressão de vapor (hPa)
ET	Evapotranspiração (mm ou $kg.m^{-2}$)
EUA	Eficiência do uso da água ($g C / kg H_2O$)
EUA_i	Eficiência do uso da água inerente ($g C hPa / kg H_2O$)
GPP	Produção Primária Bruta ($kg C m^{-2}$)
NEE	Troca Líquida do Ecossistema ($kg C m^{-2}$)
NPP	Produção Primária Líquida ($kg C m^{-2}$)
RA	Respiração Autotrófica ($kg C m^{-2}$)
RH	Respiração Heterotrófica ($kg C m^{-2}$)
$Reco$	Respiração do Ecossistema ($kg C m^{-2}$)

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	1
CAPÍTULO 2 - ELEMENTOS TEÓRICOS.....	4
2. 1 O ciclo do carbono.....	4
2.1 1 Os Ecossistemas Terrestres e o ciclo do carbono.....	5
2.1 2 Modelagem dos fluxos de Carbono.....	7
2.1 3 A fixação de carbono pelas plantas.....	8
2.1 4 A Eficiência do uso da água (EUA) e suas variáveis.....	9
CAPÍTULO 3 - MATERIAL E MÉTODOS.....	12
3. 1 Áreas em estudo.....	12
3.1 1 Descrição do sítio experimental Amazônico.....	12
3. 2 Metodologia.....	14
3.2 1 Descrição do modelo IBIS.....	14
3. 3 Dados Observacionais.....	16
3. 4 O cálculo da EUA.....	18
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	20
4. 1 Modelo IBIS versão 0D.....	20
4. 2 Modelo IBIS versão 2D.....	26
4.2 1 Modelo IBIS na Amazônia.....	26
4.2 2 Modelo IBIS no Cerrado.....	27
4.2 3 A EUA pelo modelo IBIS-2D.....	28
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES.....	31

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

A eficiência do uso da água - EUA (ou “water use efficiency”-WUE) representa a capacidade que a vegetação possui em assimilar carbono durante o processo de fotossíntese, enquanto limita as perdas de água através dos estômatos. Atualmente a maioria dos estudos sobre eficiência do uso da água tem sido realizada em culturas agrícolas, com poucos trabalhos voltados para ecossistemas florestais. No entanto, o desenvolvimento de técnicas micrometeorológicas para medição de fluxos de CO₂ e de vapor de água aumentou a confiabilidade nas estimativas das componentes do balanço de carbono e evapotranspiração, possibilitando tais estudos em vários tipos de ecossistemas.

O ecossistema Amazônico contempla a maior floresta tropical permanente do mundo (FUJISAKA ET AL., 1998), desempenhando um importante papel na regulação do clima regional e global. O padrão regional de precipitação dentro da Amazônia está ligado aos padrões de grande escala da evaporação da superfície da terra (ROCHA et al., 2004, e a sua redução é uma consequência das mudanças no balanço de energia e de água (FOLEY et al., 2003).

A extensa área de floresta tropical úmida influi no clima principalmente através da emissão ou retenção de gases e da evapotranspiração - isto é, transpiração das plantas e evaporação da água retida nas folhas, caules, na serrapilheira e no solo. Assim, a floresta tropical é grande fornecedora de vapor de água (calor latente) para a atmosfera, e ao mesmo tempo, importante ‘seqüestradora do excesso’ de gás carbônico atmosférico. (AGUIAR et al, 2006). Os fluxos de carbono e água estão intimamente ligados em ecossistemas vegetais, uma vez que a fixação de carbono através da fotossíntese e a transpiração são muitas vezes limitadas pela condutância estomática vegetal.

Outros parâmetros e processos do ecossistema, como o conteúdo de água no solo, produção da vegetação, nutrientes no ecossistema e balanço de água são influenciados pela evapotranspiração (WEVE, 2002). O entendimento do controle das

variações dos fluxos de evaporação nos territórios tropicais continua pobre, e depende crucialmente de como as vegetações tropicais usam energia e água. (AGUIAR et al, 2006).

As recentes alterações da cobertura vegetal da Amazônia têm incentivado um aumento de diversos estudos, incluindo o desenvolvimento de uma variedade de modelos numéricos para simular o comportamento dos fluxos de carbono, água e energia nos ecossistemas (KUCHARIK ET AL., 2000). O desenvolvimento destes modelos permite a discussão dos efeitos da alteração da cobertura vegetal sobre os processos climáticos regionais e globais, concentrando - se na evolução dinâmica dos processos que ocorrem em diferentes escalas de tempo. Para isso, é necessário que os dados de entrada destes modelos numéricos, como as variáveis micrometeorológicas tenham sido adequadamente tratadas e que uma ampla série de dados seja disponível.

A disponibilidade de dados climáticos em diferentes escalas de tempo é fundamental para se discutir a origem e a manutenção de um ecossistema florestal, para compreender aspectos de sua dinâmica e também para prever os efeitos de perturbações ou práticas de manejo com o auxílio de modelagem numérica em ecossistemas, em especial dos modelos acoplados superfície-atmosfera.

Modelos de biosfera terrestre são os componentes dos modelos climáticos que simulam a interação entre a superfície dos continentes e a atmosfera. Após quatro décadas de evolução, esses modelos passaram por transformações significativas, caracterizadas por diversas gerações (SELLERS ET AL., 1997). Atualmente, os modelos incorporam uma série de processos do sistema terrestre relacionados à superfície continental como, por exemplo, processos biogeofísicos de maneira geral (fluxos de superfície, turbulência, etc.), fenologia e dinâmica de vegetação, ciclo do carbono terrestre, outros ciclos biogeoquímicos, hidrologia superficial, e emissões de gases-traço, VOCs, poeiras e aerossóis (OLESON ET AL., 2008).

O objetivo geral deste trabalho é avaliar a eficiência na qual os dois maiores biomas brasileiros, Amazônia e Cerrado, utilizam a água, através de medidas de torres de fluxos e simulações com o modelo de biosfera terrestre IBIS (KUCHARIK ET AL., 2000), contribuindo com informações sobre a variabilidade sazonal dos fluxos de evapotranspiração e produtividade primária bruta, melhorando a compreensão de como

a vegetação tropical utiliza e dimensiona as trocas carbono e água no sistema solo-planta-atmosfera.

CAPÍTULO 2

2. ELEMENTOS TEÓRICOS

2. 1 O ciclo do carbono

Os ciclos biogeoquímicos, dentre eles o ciclo do carbono, podem ser convenientemente classificados em dois compartimentos: (1) O compartimento denominado reservatório, componente maior, de movimentos lentos e geralmente não biológicos, e (2) o compartimento lábil ou de ciclagem, que corresponde a uma parcela menor, porém, mais ativa que cicla rapidamente entre os organismos e o ambiente (ODUM, 1983).

Em nível global, o ciclo de dióxido de carbono e hidrológico são provavelmente os dois ciclos biogeoquímicos mais importantes para a humanidade. Os dois são caracterizados por “pools” (ou reservatórios) atmosféricos pequenos, porém muito ativos, sendo vulneráveis às perturbações antrópicas (ODUM, 1983). Com relação ao ciclo do carbono, os principais reservatórios são os oceanos seguidos pelos depósitos de combustíveis fósseis, os solos, a atmosfera e a vegetação.

Desde o início da era industrial, a concentração de carbono na atmosfera global tem aumentado, sendo que a concentração média de dióxido de carbono cresceu de 285 ppm para 366 ppm na atmosfera, no período de 1850 a 1998 (IPCC, 2000). Isto se deve principalmente à queima de combustíveis fósseis e, às mudanças no uso da terra, agropecuária e desmatamentos, tanto em regiões subtropicais quanto em regiões tropicais.

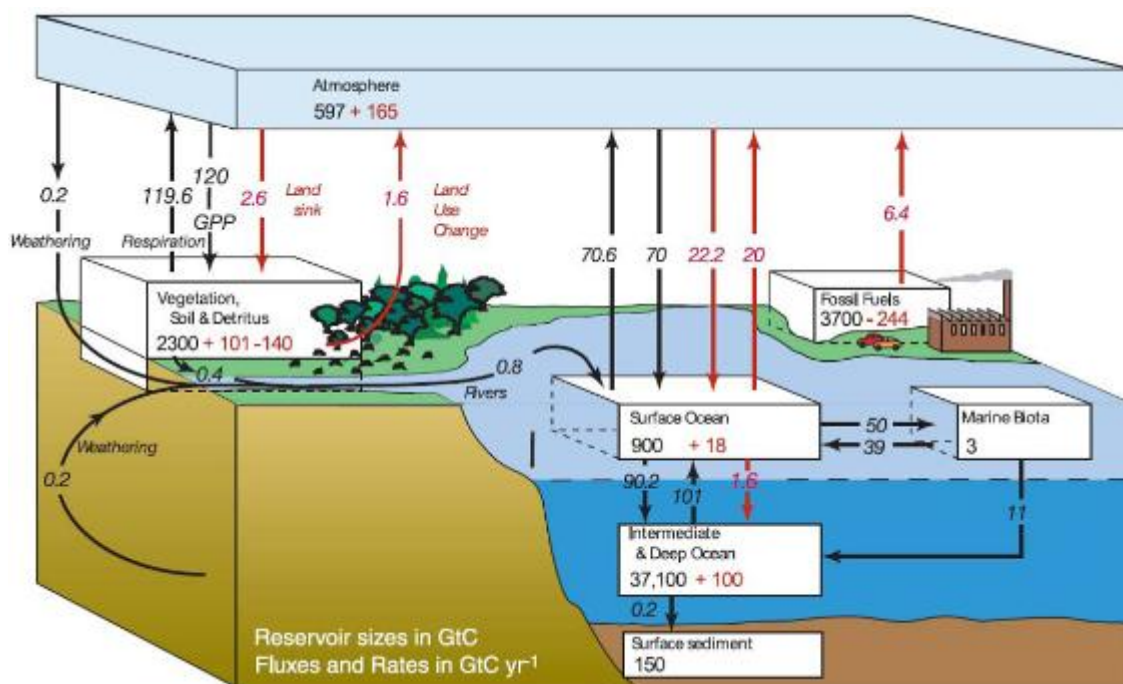


Figura 1- Ilustração da ciclagem global de carbono entre a biosfera e atmosfera. As setas em preto representam o ciclo do carbono no período pré - industrial; as setas em vermelho representam os fluxos de origem antropogênica, na década de 1990.

Fonte: Adaptado de Costa, (2007)

Na figura 1, encontram-se ilustrados os fluxos de carbono pré e pós revolução industrial, revelando a significativa contribuição antrópica no aumento das emissões de gás carbônico. Emissões de gases do efeito estufa provocadas pela mortalidade da floresta devido à mudança de clima, fazem parte de uma relação de retroalimentação positiva em potencial que conduz a cada vez mais aquecimento e mais mortalidade. (FEARNSIDE, 2008)

Neste sentido, o ciclo do carbono se torna crucial para a compreensão das mudanças ocorridas no clima e nas implicações que estas, podem causar na dinâmica de processos essenciais para a biosfera.

2.1 1 Os Ecossistemas Terrestres e o ciclo do carbono

A capacidade dos ecossistemas emitirem ou sequestrarem carbono atmosférico é determinada por grande variedade de processos físico-químicos e bióticos que atuam em direções e intensidades diferentes. Para realmente entender o papel atual e futuro de um

ecossistema no balanço do carbono atmosférico, seria necessário também conhecer e quantificar todos esses processos.

Nos ecossistemas terrestres o carbono pode ser retido na biomassa viva através do processo de fotossíntese, no material biogênico em decomposição e nos solos. Esses estoques variam de acordo com a tipologia dos ecossistemas, que estão distribuídos globalmente de acordo com os regimes climáticos de cada região. As florestas tropicais apresentam os maiores estoques de carbono na vegetação, enquanto as florestas boreais apresentam os maiores estoques de carbono no solo (ARAGÃO; SHIMABUKURO, 2004).

A quantidade global de carbono armazenado nas plantas é relativamente pequena em comparação às grandes quantidades de carbono armazenadas no oceano e em reservatórios de combustíveis fósseis. Porém, esse estoque de carbono na vegetação assume importância fundamental uma vez que ele pode aumentar ou diminuir rapidamente, em resposta ao clima ou intervenções humanas (como incêndios florestais), tendo efeitos fortes e imediatos na concentração de CO₂ na atmosfera (FOLEY e RAMANKUTTY, 2004; STEFFEN et al., 2004).

Podemos afirmar que, em uma escala geográfica mais ampla, o clima é o fator de estado que mais significativamente determina a estrutura e os processos dos ecossistemas, além das ações antrópicas. (BUCKERIDGE, 2008).

Existem vários estudos que atribuem ao ecossistema amazônico, a característica de fonte de CO₂ para a atmosfera em função do desmatamento de entre 15 e 20 mil km² ao ano, somente na Amazônia brasileira (INPE, 2001). Entretanto, uma série de estudos recentes sobre o papel das florestas tropicais da Amazônia no ciclo de carbono abre a possibilidade de que também as florestas tropicais estejam desempenhando um papel relevante como sumidouros de CO₂.

Numa escala regional, várias regiões dentro da floresta Amazônica, apresentam respostas distintas quanto às trocas gasosas entre a superfície e a atmosfera. Saleska et al. (2003), e Goulden et al. (2004), analisaram a Floresta Nacional do Tapajós, na região de Santarém (PA), e observaram que a absorção de CO₂ pela floresta ocorreu durante os períodos mais secos do ano (julho a dezembro), e caracterizou-se como fonte de CO₂ durante o período de chuvas. Os autores explicaram estes resultados baseando-se que

durante os períodos de chuva no sítio em questão há uma maior quantidade de respiração nos solos e de decomposição da biomassa morta na superfície do solo pela atividade microbiana.

Em Manaus, na Reserva Biológica do Cuieiras, Araujo et al. (2002), observaram uma absorção substancial de carbono pela floresta, com menor variação sazonal dos fluxos de CO₂ entre a floresta e a atmosfera, e menor redução na respiração do solo durante os períodos secos, tornando os dados observacionais distintos dos encontrados em Santarém. Algumas explicações para os resultados encontrados estão na possibilidade de problemas com a técnica observacional, subestimando os valores reais, ou à topografia, que pode ter influenciado na coleta de dados.

Como podemos ver, grande parte das incertezas com relação a vários estudos, se encaixa na hipótese da possível contaminação de dados, na grande variabilidade dos ambientes terrestres (El Niño e La Niña) e na constante pressão do homem na alteração do meio, dificultando a acurácia e a interpretação das estimativas de fluxo de carbono nesses ambientes, levando a incertezas nas determinações de fluxo quando estas são levadas a nível global e regional.

Neste sentido, a utilização de modelos computacionais revela-se uma alternativa importante para aprimorar o entendimento dos processos, e uma ferramenta útil para analisar as características do balanço de carbono nos ecossistemas, devido a sua capacidade de simular as interações entre a biosfera e atmosfera regional e global.

2.1 2 Modelagem dos fluxos de Carbono

A modelagem formal permite análises quantitativas de um determinado fenômeno. Esta é expressa por modelos matemáticos, que são uma equação ou um conjunto de equações contendo variáveis relacionadas por expressões matemáticas. Diversos tipos de modelos têm sido utilizados para tentar entender a complexidade dos efeitos das mudanças globais nos ecossistemas terrestres e suas conseqüentes respostas, em relação ao carbono (ARAGÃO; SHIMABUKURO, 2006). A melhor maneira para isso é modelar a produtividade do ecossistema em função das condições ambientais,

pois a composição e estrutura de um ecossistema dependem basicamente da taxa de fixação de carbono e da sua taxa de mortalidade.

A taxa líquida de fixação de carbono em um ecossistema, ou produção primária líquida (NPP, do inglês “Net Primary Production”) é o fluxo líquido de carbono da atmosfera para as plantas, e é determinada pela diferença entre a fotossíntese bruta (GPP, do inglês “Gross Primary Production”) e a respiração autotrófica dos ecossistemas (RA), integrada ao longo do tempo ($NPP = GPP - RA$). A NPP também pode ser relacionada à troca líquida do ecossistema (NEE) e à respiração heterotrófica dos ecossistemas (RH) pela relação $NEE = NPP - RH$. A NPP é sensível a vários fatores de controle, incluindo aspectos relacionados ao clima, topografia, solos, planta, características microbianas, distúrbios, e impactos antropogênicos (FIELD ET AL., 1995).

2.1 3 A fixação de carbono pelas plantas

Como dito anteriormente, o aumento da concentração de gás carbônico na atmosfera provoca o aumento da temperatura, e muda o clima, isto acontece, pois as massas de ar passam a se movimentar de maneira distinta na atmosfera. Neste cenário, a vegetação apresenta um papel importantíssimo, que é o de auxiliar na compreensão das consequências do aumento de CO₂ atmosférico, bem como na retirada de grandes quantidades deste gás da atmosfera através do processo fotossintético. A fotossíntese consiste em dois processos acoplados. Um deles é de caráter fotoquímico e compreende a absorção de luz e o transporte de elétrons; o outro é o bioquímico, com a captação do gás carbônico e a formação de compostos que encadeiam os átomos de carbono e retêm a energia absorvida a partir da luz nas ligações químicas das moléculas formadas (BUCKERIDGE, 2008). Assim, para a realização da fotossíntese, as plantas necessitam de três recursos essencialmente básicos, a energia solar, o dióxido de carbono e a água.

A água exerce papel fundamental, pois para que a energia luminosa seja processada, é necessário que haja uma quebra nas moléculas de água em moléculas de hidrogênio e oxigênio, para que os elétrons dos átomos de hidrogênio sejam utilizados no processo de transporte de elétrons para o início da carboxilação. Processada esta energia, as plantas transformam-na em energia química permitindo que o CO₂ capturado

possa ser convertido em açúcares e outros compostos orgânicos para sua manutenção, crescimento e reprodução.

Dentre os fatores abióticos, os mais importantes fatores que influenciam a fotossíntese são: concentração de CO₂, água, luz e temperatura.

A concentração de CO₂, quando elevada, pode interferir sobre o aumento da atividade da enzima RUBISCO, redução da abertura estomática e alterações na respiração, trazendo alterações no balanço de água e carbono nas plantas. O déficit hídrico influencia na diminuição da taxa fotossintética devido à menor hidratação dos cloroplastos, fazendo com que haja diminuição da atividade enzimática, reduzindo os processos metabólicos. Além disso, a falta de água promove o fechamento dos estômatos, o que reduz a difusão do CO₂. A luz, como fator limitante, impede a fotossíntese a noite e em momentos de grande variabilidade. É também fonte de energia para a formação de ATP e NADPH₂, substâncias que participam ativamente da conversão do CO₂ em compostos orgânicos. Em grandes intensidades de luz, a taxa fotossintética reduz-se por possíveis danos nos pigmentos fotossintéticos.

Por fim, temos influência da temperatura, que assim como a água, pode influenciar na abertura estomática. Em ecossistemas tropicais, a temperatura é considerada como ótima quando se apresenta entre 30° e 40°C. Temperaturas altas, entre 50 e 60°C, reduzem a taxa fotossintética por provavelmente determinarem destruição das enzimas e causar danos ao aparelho fotossintético.

2.1 4 A Eficiência do uso da água (EUA) e suas variáveis

Em decorrência da crescente preocupação com as mudanças climáticas e recursos hídricos, há um interesse em compreender como a EUA em ecossistemas florestais e agrícolas pode ser melhorada dentro dos sistemas de modelagem, aprimorando as representações prognósticas do clima. Isto ocorre porque a EUA é um parâmetro capaz de auxiliar na compreensão das relações hídricas, sendo representado em ecossistemas florestais pelo aumento de biomassa e o volume de água utilizada no período.

A EUA expressa quantitativamente o comportamento momentâneo das trocas gasosas na folha e que varia entre e dentro das espécies vegetais, principalmente quando são alteradas as condições de difusão do CO_2 ou da H_2O (LARCHER, 2000).

Os processos da fotossíntese e transpiração estão intimamente relacionados através dos estômatos, pois ao mesmo tempo em que os estômatos oferecem resistência à difusão da água de dentro da folha para atmosfera, constituem-se de uma barreira para aquisição de CO_2 .

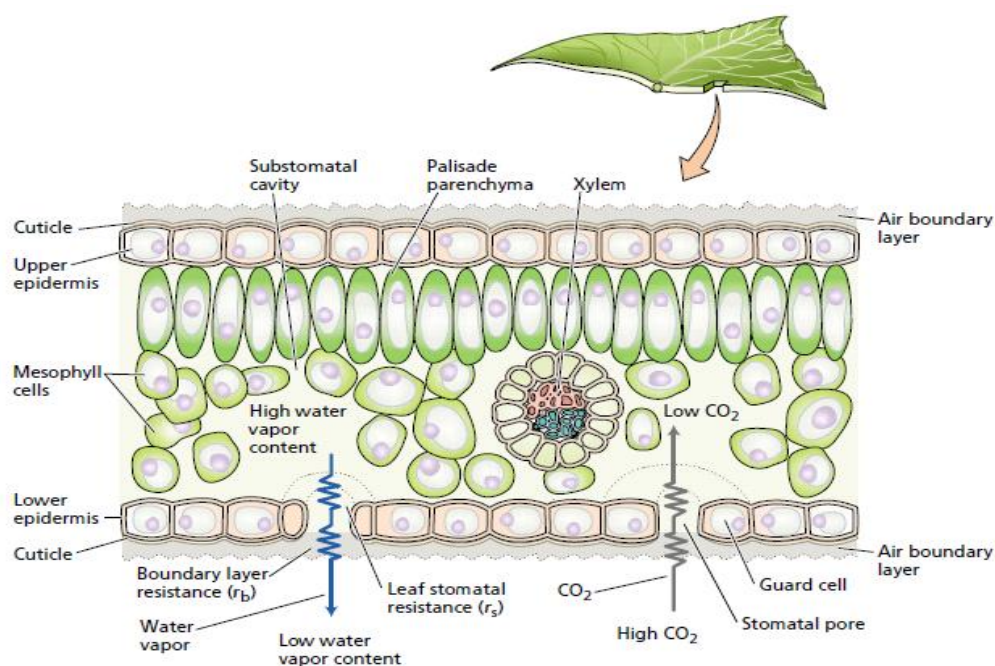


Figura 2 - Pontos de resistência difuso do CO_2 do exterior da folha para os cloroplastos, e da saída das moléculas de água do interior da folha. O poro estomático o ponto de maior resistência a ambas as difusões.
Fonte: Fisiologia Vegetal, Taiz e Zeiger, (2004).

Segundo Taiz, 2004, as maiores resistências à difusão na rota de transpiração durante os processos de troca gasosa são governadas dois componentes variáveis, a resistência estomática foliar e a resistência imposta pela camada limítrofe. A camada limítrofe é determinada pela porção de ar próxima a superfície foliar, a qual as moléculas de água precisam se difundir para chegar ao ar turbulento da atmosfera. Esses principais pontos de resistência estão ilustrados na Figura 2.

Os controles instantâneos da transpiração pelos estômatos, geralmente representam um fator limitante para produtividade da floresta (GUCCI et al, 1996), devido à diminuição da captura de CO₂. Por meio da regulação da abertura estomática, a planta é capaz de modular as taxas de transpiração de acordo com as possibilidades e necessidades hídricas. Neste sentido, plantas de locais úmidos, diminuem o grau de abertura estomática e o tempo de abertura dos estômatos quando o balanço hídrico torna-se desfavorável, diminuindo assim, seu consumo de água (LARCHER,2000).Fatores externos influenciam a transpiração na medida em que alteram a diferença de pressão de vapor entre a superfície da planta e o ar que a envolve. A transpiração intensifica-se com a diminuição da umidade relativa e com o aumento da temperatura do ar (LARCHER,2000).

Segundo seu modelo, Sarmiento et al. 1985 concluíram que a transpiração das espécies lenhosas depende mais das condições atmosféricas do que da disponibilidade de água no solo.

A diferença entre a pressão de vapor saturado e a atual define o déficit de pressão de vapor (DPV), isto é, o quanto de vapor é necessário para saturar determinado volume de ar. O DPV é um indicativo da demanda evaporativa do ar (MEDEIROS,2002). O controle da condutância estomática, em função do DPV é particularmente importante para que as plantas possam evitar uma perda excessiva de água em condições de alta demanda evaporativa da atmosfera (MIELKE,1997).

Quanto maior o DPV, maior a tendência de a planta perder água, pois valores muito altos de DPV subtraem água da célula e, portanto, diminuem o valor do potencial hídrico do sistema celular (LARCHER,2000). A figura x, ilustra

Quando o ar apresenta umidade relativa elevada, o gradiente de difusão que move a água é aproximadamente 50 vezes maior do que o gradiente que promove a absorção de CO₂ (TAIZ; ZEIGER, 2004). Nesse sentido, o DPV é uma variável que impulsiona a transpiração e altos valores ao longo do dia causam o fechamento estomático e reduzem o crescimento (ALMEIDA; SOARES,2003)

CAPÍTULO 3

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Áreas em estudo

As áreas em estudo compreendem áreas dos biomas brasileiros Amazônia e Cerrado, sendo que para a Amazônia, foi utilizada uma área de reserva florestal pertencente ao programa LBA, e para o Cerrado, um ponto de grade dentro dos limites do bioma, localizados a 02°36'S, 60°12'W e 09.25°S, 46.25W, respectivamente.

3.1.1 Descrição do sítio experimental Amazônico

O sítio experimental do programa LBA (The Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazônia) K34 está localizado na Reserva Florestal de Cuieiras, no município de Manaus – AM. A Figura 3 ilustra todos os sítios experimentais pertencentes ao LBA.

O sítio encontra-se em uma área de platô, cerca de 60 km a noroeste de Manaus, em uma região de vegetação de floresta tropical primária não perturbada, bastante diversificada no aspecto florístico, cujo dossel alcança uma altura entre 30-40 m, com a ocorrência de cerca de 324 espécies e 174 gêneros por ha (Jardim & Hosokawa, 1986/87). Oliveira et al. (2002), realizaram recente inventário no platô do km 34, identificando apenas indivíduos com diâmetro à altura do peito (DAP) igual ou superior a 10 cm, tendo encontrado 670 indivíduos, distribuídos em 48 famílias, 133 gêneros e 245 espécies.



Figura 3 - Localização dos sítios de pesquisa LBA na Floresta.
 Fonte: Programa LBA (2008).

O clima da região é do tipo Af_i na classificação de Köppen, com temperatura média de 26 °C (mínima 19 °C e máxima 39 °C). A condição de baixa variação de temperatura é consequência do vapor d'água sempre alto na atmosfera: a umidade relativa do ar varia de 77 a 88 %, com média anual de 84 % (LEOPOLDO ET AL. 1987).

Na Reserva do Cuieiras, a interceptação da chuva pela floresta é de 25,6 % e a transpiração da floresta é de 48,5 %, produzindo, então, uma evapotranspiração de 74,1 %, com média diária de 4,1 mm/dia (LEOPOLDO ET AL. 1987). Quase não há evaporação do solo sob floresta intocada.

A torre micrometeorológica K34 possui cerca de 50m de altura, e está situada a uma altitude de 130m (Figura 4). O relevo na região é constituído por diversos platôs intercalados por vales onde aparecem vários igarapés, compondo uma rica rede de escoamento; o solo é do tipo latossolo amarelo álico, de textura argilosa, com boa drenagem (CHAUVEL, 1982).

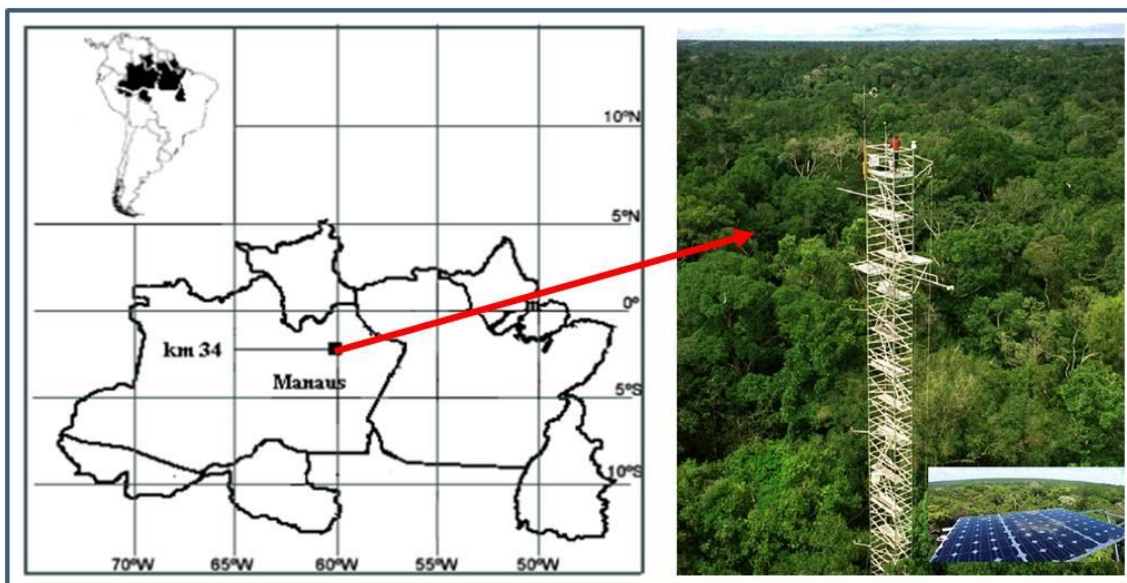


Figura 4 - Localização do sítio experimental LBA K34, em Cuieiras - AM e Foto da torre micrometeorológica - K34.
 Fonte: Adaptado Imbuzeiro (2005) e Programa LBA.

3.2 Metodologia

3.2.1 Descrição do modelo IBIS

O modelo de biosfera terrestre IBIS foi utilizado para simulações da produtividade primária líquida (NPP) e da evapotranspiração (ET). O IBIS simula os processos da superfície terrestre (trocas de energia, água e momentum entre o solo, a vegetação e a atmosfera), fisiologia do dossel (fotossíntese e condutância do dossel), fenologia da vegetação (produção de folhas e senescência), vegetação dinâmica (distribuição, reciclagem e competição entre os tipos de vegetação) e balanço de carbono terrestre (produção primária líquida, reciclagem do tecido vegetal, carbono no solo e decomposição da matéria orgânica) (KUCHARIK et al, 2000).

O modelo segue uma hierarquia conceitual e inclui submodelos (ou módulos) organizados de acordo com a escala temporal: processos de superfície (transferência de energia, água, carbono e momentum), biogeoquímica do solo (ciclo do nitrogênio e do carbono), dinâmica da vegetação (competição das plantas por luz, água e nutrientes), fenologia (baseada no desenvolvimento medido por graus-dia) (COSTA, 2009). Uma

representação da estrutura do modelo e de seus diversos módulos é apresentada na Figura 5.

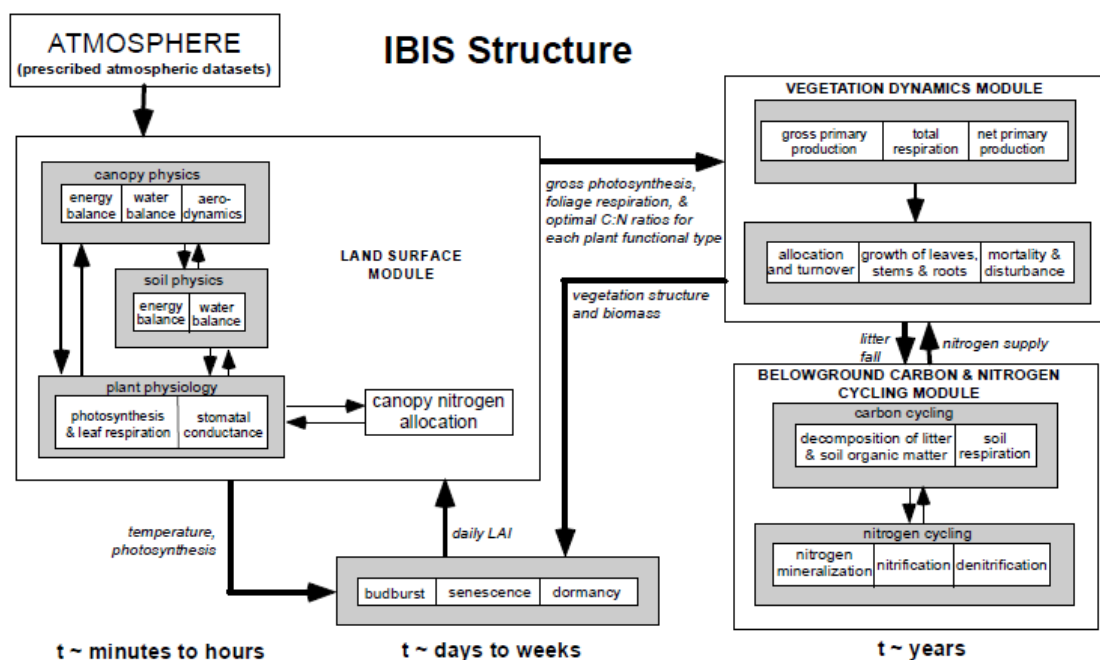


Figura 5 - Estrutura básica do modelo IBIS com as características dos processos do modelo de ecossistema terrestre.
Fonte: Foley, (1996).

No módulo de vegetação, o modelo IBIS utiliza combinações de 12 tipos funcionais de plantas (TFPs) para representar quinze classes de vegetação (biomas). Cada TFP é caracterizado em termos de biomassa (carbono na folhas, troncos e raízes finas) e do índice de área foliar (IAF, ou “Leaf Area Index”, LAI). A representação da classe 'florestas tropicais sempre-verdes' (Floresta Amazônica) é caracterizada por estratos de árvores perenes e decíduas, enquanto a classe 'savana' (Cerrado brasileiro) é caracterizada por estratos de árvores caducifólias e de herbáceas.

Um trabalho inicial de calibração da versão 2.0 do IBIS, para cinco diferentes regiões do globo, foi desenvolvido por Delire e Foley (1999) e Kucharik et al(2000), usando diversas medidas biofísicas, dentre as quais destacam-se as medições de fluxo obtidos no sítio da Reserva Biológica do Jaru (Rebio Jaru), na campanha Anglo-Brazilian Amazonian Climate Observation Study (ABRACOS) (IMBUZEIRO,2005).

Neste trabalho, porém, utilizaremos os parâmetros de calibração propostos no trabalho de calibração do modelo IBIS na Amazônia, para diferentes sítios experimentais do programa LBA desenvolvidos por Imbuzeiro (2005). Serão também utilizadas as versões 0D (pontual) e 2D (bidimensional) do modelo de biosfera terrestre IBIS, para a realização das simulações. As simulações no ecossistema amazônico foram realizadas com as duas versões do modelo, enquanto que para o ecossistema cerrado, apenas a versão bidimensional foi utilizada.

3.3 Dados Observacionais

Neste trabalho, para o ecossistema amazônico, foram utilizados os dados coletados pela estação meteorológica do programa LBA, para o sítio experimental K34. O conjunto de dados compreende as seguintes variáveis: radiação solar incidente (S_{in}) e radiação de onda longa incidente (L_{in}); temperatura do ar (T_a); velocidade do vento (u_a); precipitação (P); umidade específica do ar (q_a), fluxo de calor latente (LE); troca líquida do ecossistema (NEE), produtividade primária bruta (GPP) e respiração do ecossistema ($Reco$).

Todas essas medidas são valores fornecidos a cada meia hora, e correspondem a um período de junho de 1999 a setembro de 2000. As variáveis S_{in} , L_{in} , T_a , q_a , u_a e P foram usadas como dados de entrada (forçantes), enquanto as variáveis, LE , NEE , GPP e $Reco$, foram usadas para avaliar o desempenho do modelo.

Os dados de fluxo, LE , NEE , GPP e $Reco$ foram agrupados em intervalos mensais, dos quais foram extraídos valores médios para análise sazonal das componentes do balanço de carbono e da eficiência do uso da água.

Os dados observados foram confrontados com dados simulados pelo modelo integrado da biosfera terrestre IBIS (FOLEY et al., 1996; KUCHARIK et al 2000), permitindo a realização da avaliação da representação modelo.

A disponibilidade de dados de fluxo e micrometeorológicos validados para o bioma cerrado no Brasil é escassa. Assim para a realização desta etapa, esperava-se,

como proposto no plano inicial de pesquisa, que haveria a disponibilização destes dados por instituições parceiras ao INPE. Tendo em vista que não houve a disponibilização dos dados necessários para forçar o modelo pontual (0D), optou-se pela análise da representação do modelo na versão pontual no bioma Amazônico e posteriormente, a análise comparativa das simulações da versão bidimensional (2D) nos biomas Amazônico e Cerrado.

Para as simulações, a versão 0D do modelo foi calibrada com os parâmetros descritos na Tabela 1, e forçada pelos dados micrometeorológicos correspondentes ao sítio experimental K34 (02°36'S, 60°12'W). Após a inclusão dos novos parâmetros de calibração, foram realizadas algumas modificações no código do modelo, alterando suas saídas, incluindo variáveis de interesse como evapotranspiração (ET) e GPP nas saídas mensais.

Tabela 1- Parâmetros de calibração propostos por IMBUZEIRO (2005), para o sítio experimental K34, em Manaus – AM.

Parâmetro de Calibração- Manaus – K34	Variável	Valor
Distribuição das raízes finas	β_2	0,985
Capacidade máxima da enzima Rubisco	V_{\max} ($\mu \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	70
Coefficiente relacionado à condutância estomática	coefm	9
Capacidade térmica dos galhos no dossel	C_{HS} ($\text{J m}^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$)	$0,263 \cdot 10^5$
Profundidade das raízes	root depth (m)	8
Altura do dossel	ztop (m)	35
Altura da Torre	za (m)	53

Foram realizadas rodadas considerando num primeiro momento a vegetação estática (em que a fenologia da vegetação é prescrita e fixa, sem responder a mudanças nas condições ambientais), e posteriormente considerando a vegetação dinâmica (em

que as características fenológicas da vegetação como o índice de área foliar são determinadas dinamicamente em resposta às forçantes ambientais). O modelo simulou o balanço de carbono e a evapotranspiração por um período de oito anos, dos quais alguns são ilustrados neste relatório.

Na versão 2D, o modelo foi programado para simular o balanço de carbono e a evapotranspiração para um domínio de grade cobrindo a América do sul por um período de cinquenta anos. Os cinco últimos anos desta simulação foram utilizados para formar um ano médio, o qual foi utilizado nas análises para os dois ecossistemas em estudo. Para o bioma amazônico, foram extraídos, os valores de GPP, ET, Reco e NEE, para as coordenadas 02 S, 60 W, e para o cerrado, 09.25°S, 46.25W.

3. 4 O cálculo da EUA

Para calcular a eficiência no uso da água, partiu-se do princípio de que a taxa de assimilação (GPP) equivale taxa de difusão de moléculas de CO₂ para o interior da folha, e a taxa de transpiração (ET), equivale taxa de difusão de H₂O para fora da folha. Onde a taxa de assimilação e transpiração, são fornecidas pelo particionamento da NEE e dados de fluxo de calor latente, respectivamente, através dos dados de torre fluxo, do sítio experimental K34. A EUA pode então ser expressa pela seguinte equação,

$$EUA = GPP/ET \quad (1)$$

onde GPP é a produção primária bruta, em gC/m², e ET é a evapotranspiração em mm.

Utilizou-se também uma equação proposta por Beer et al. (2009), para avaliar a influencia do DPV na EUA, a qual ele define como "eficiência do uso da água inerente"(EU_{Ai}). No cálculo da EU_{Ai}, Beer et al. (2009), propõe que a razão ET / DPV pode ser utilizada como uma representação da condutância do dossel (em condições em que o dossel é bem acoplado às condições atmosféricas e negligenciando efeitos da condutância aerodinâmica), de modo que a EUA intrínseca na escala foliar

(assimilação de carbono por unidade de condutância estomática) pode ser escalonada à escala do dossel pela EUAi, dada por ,

$$EUAi = GPP * DVP / ET \quad (2)$$

onde GPP é a produção primária bruta, em gC/m^{-2} , DPV é o déficit de pressão de vapor em hPa e ET é a evapotranspiração em mm.

CAPÍTULO 4

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4. 1 Modelo IBIS versão 0D

Na figura 6 apresenta-se uma representação temporal de alguns resultados mensais simulados, confrontados com os dados observados. O modelo foi executado em dois modos: modo de vegetação estática, em que a fenologia da vegetação é mantida fixa, sem ser influenciada pelas condições ambientais, e o modo de vegetação dinâmica, em que o índice de área foliar, altura dos tipos funcionais de plantas e outras características fenológicas vegetação são calculadas diariamente modelo.

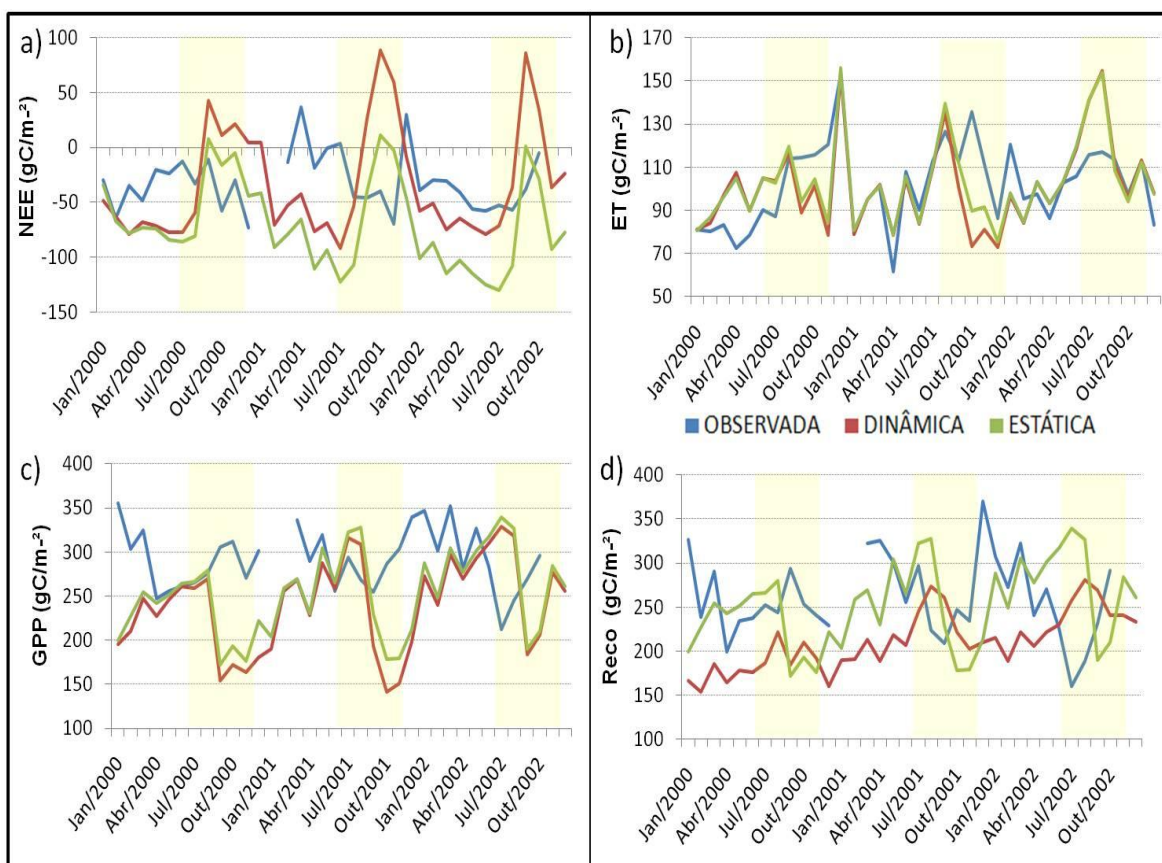


Figura 6 - Observações e simulações do modelo IBIS de a) troca líquida do ecossistema (NEE), b) produção primária bruta (GPP), c) evapotranspiração (ET), d) respiração do ecossistema (Reco), para o sítio experimental K34. A estação seca em cada figura é representada pelas áreas sombreadas em amarelo.

Os resultados mensais simulados divergem dos dados observados, constatando uma dificuldade do modelo em representar os possíveis efeitos de estresse hídrico na floresta durante a estação seca. Essa dificuldade em simular a estação seca de forma adequada, interferiu nos resultados de GPP e NEE. Como o estresse hídrico simulado foi maior do que o valor real, a GPP simulada foi menor do que os valores reais na estação seca e a NEE se mostrou maior em estações chuvosas, o que contraria os dados observados.

Uma hipótese seria que no modelo, as camadas de solo representadas, totalizam cerca de 8 m de profundidade apenas, o que para a região é considerado uma parcela pequena da área de absorção das raízes. Por este motivo, o modelo poderia ter gerado um estresse hídrico muito maior do que o estresse hídrico observado.

Porém, essa representação acentuada do estresse hídrico na região revela características importantes no modelo. Apesar de superestimada, a capacidade de representar as restrições na absorção de água pelas plantas é importante, induzindo um feedback fisiológico (no caso, uma resposta da condutância estomática) sobre os processos foliares (diminuição da GPP) e perdas por evaporação (diminuição da ET). Outra característica notável é a sensibilidade do modelo em representar a estação seca, assim que se inicia a estação o modelo responde rapidamente, caindo de forma bruta os valores de GPP e aumentando os de NEE.

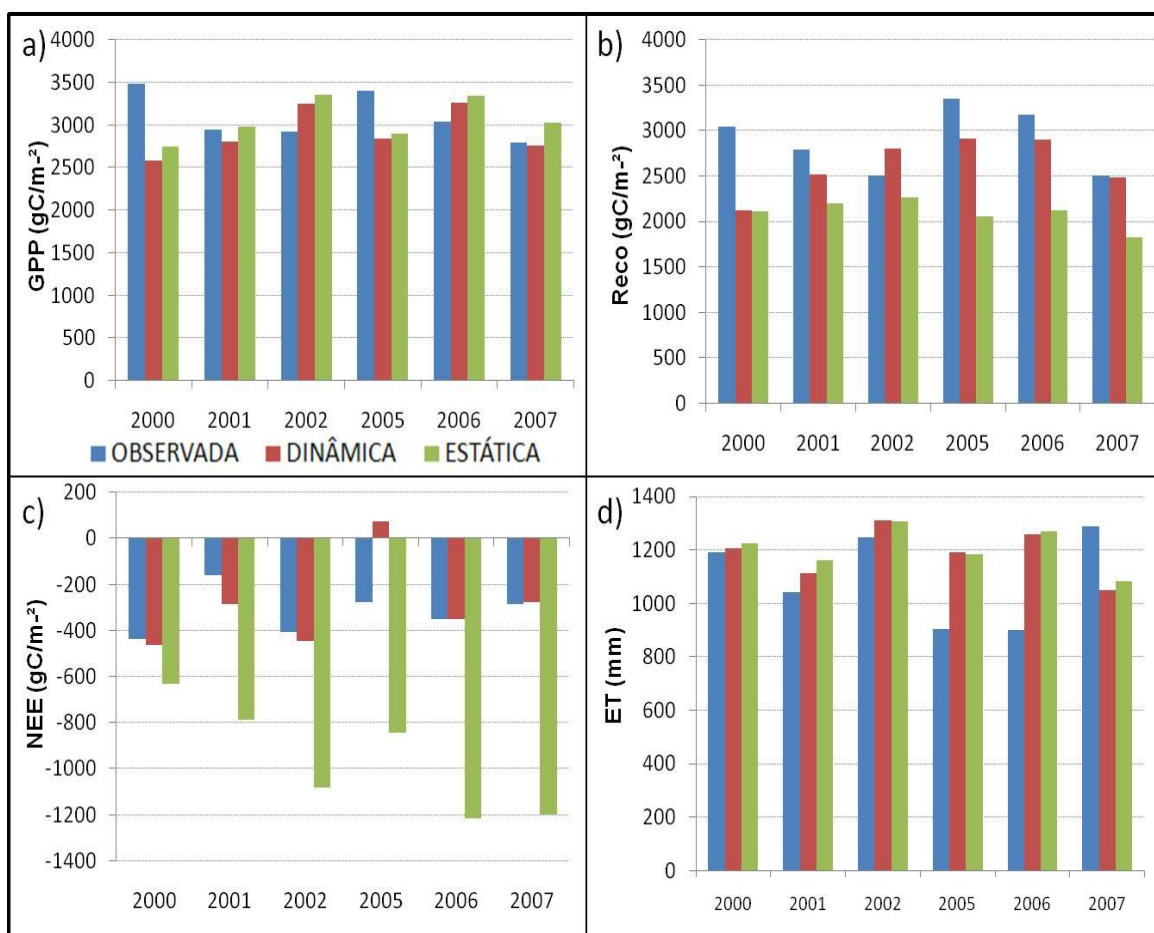


Figura 7 - Totais anuais observados e simulados com o IBIS, a) produção primária bruta (GPP), b) Troca líquida do ecossistema (NEE), c) Respiração do ecossistema (Reco), e d) Evapotranspiração (ET)

Com relação aos totais anuais, apresentados na Figura 7, foi possível constatar que o modelo, em suas atuais parametrizações, representa os valores das trocas de carbono e água, relativamente satisfatórios em termos de similaridade com os valores totais anuais observados, exceto em relação aos valores de NEE, considerando a vegetação estática.

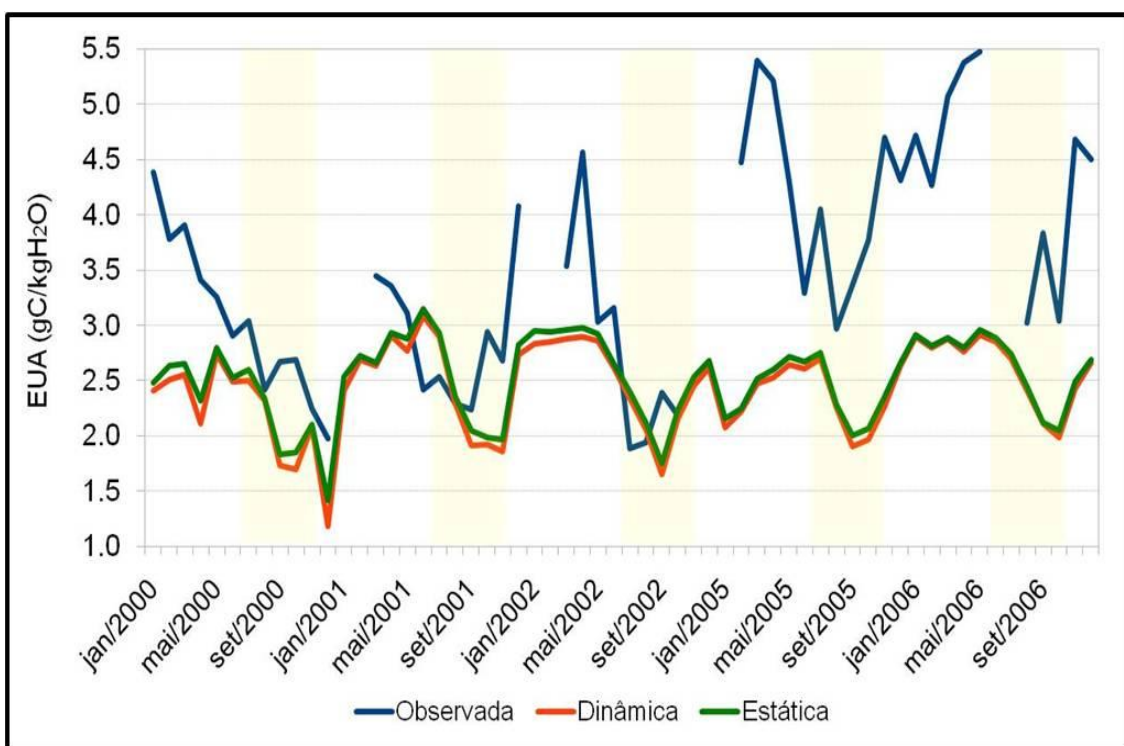


Figura 8 - Representação temporal da eficiência do uso da água observada e simulada pelo modelo IBIS em modo de vegetação estática e dinâmica. As colunas em amarelo representam à estação seca dos anos correspondentes.

A representação temporal da EUA, ilustrada na Figura 8, revela que durante a estação seca há uma tendência em diminuir a eficiência no uso da água, e que o modelo integrado da biosfera, apesar de subestimar os valores, representa esta tendência. O resultado obtido é interessante, pois demonstra que o modelo captura a variação dos dados observados, embora demonstre ser mais sensível e apresentar um ligeiro atraso em relação às observações. Outro fator importante, é que o cálculo da EUA simulada, baseia-se em dados de GPP e ET anteriormente descritos neste relatório, o que pode ter comprometido os valores de EUA, devido à má representação da GPP na estação seca. No entanto, a representação da EUA na figura 8, não leva em conta, alguns mecanismos essenciais na troca de gases entre atmosfera e planta, o que pode ter camuflado a resposta fisiológica da planta em resposta às condições climatológicas do período de estiagem. Observa-se que em condições de menor evapotranspiração e maior assimilação, encontramos uma maior eficiência do uso da água (período de chuvas), e

em condições opostas, com menor taxa de assimilação, e aumento da evapotranspiração, encontramos uma menor eficiência.

Porém, como abordado no capítulo anterior, a eficiência no uso da água pode ser influenciada por muitos fatores como extração e quantidade de água no solo, distribuição das raízes e controle da condutância estomática, sendo o último o responsável por controlar a quantidade de CO₂ assimilado e H₂O transpirado.

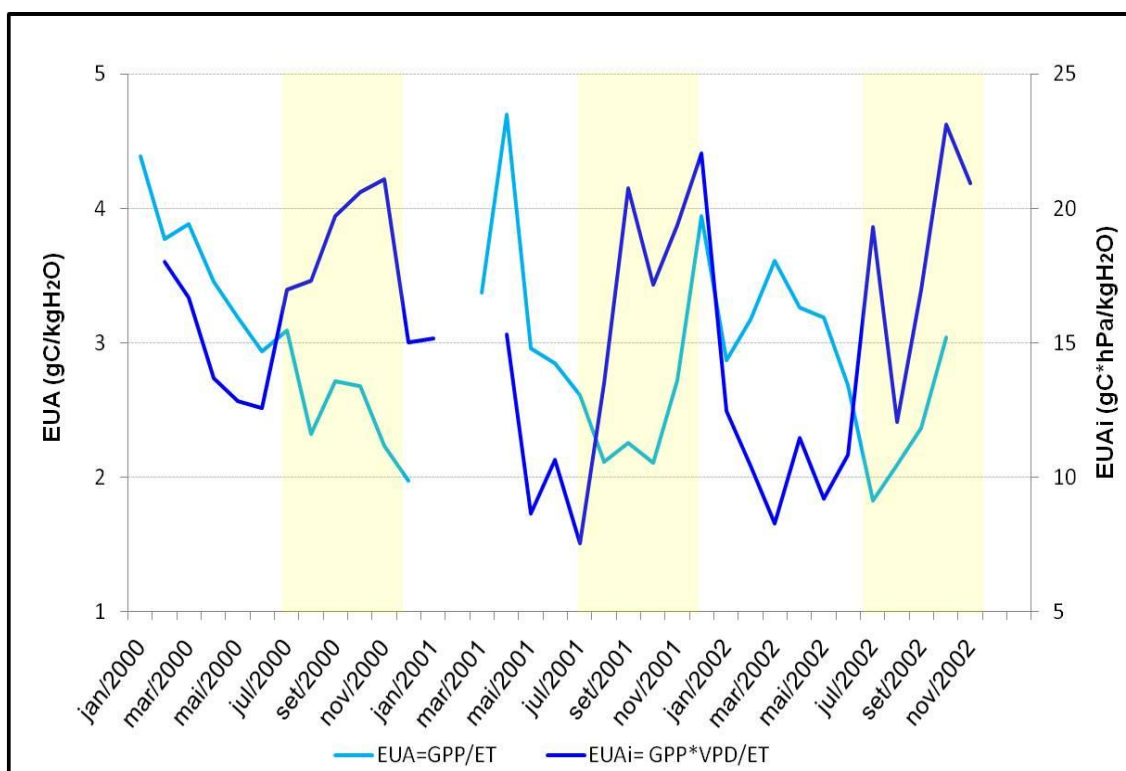


Figura 9 - Representação temporal da eficiência do uso da água (EUA) e eficiência do uso da água inerente (EUAI), que leva em consideração o déficit de pressão de vapor (DPV). As colunas em amarelo representam a estação seca dos anos correspondentes.

A umidade do ar afeta o déficit de pressão de vapor (DPV), ao qual o estômato é sensível (BARNARD; RYAN,2003). Para um melhor entendimento da aquisição de carbono pela planta e das respostas fisiológicas nas trocas de carbono e água, é fundamental levar em consideração o DPV. Assim, na figura 9, representamos o cálculo da EUA e a EUAI, calculados a partir dos dados observados.

Os resultados revelam que os valores encontrados para EUAi tem uma variabilidade sazonal oposta aos anteriormente calculados para EUA. Uma possível explicação seria que, quando levamos em conta o DPV, estamos levando em conta a resposta da condutância estomática à temperatura e à umidade encontrada no local, corrigindo assim, possíveis erros nos valores potenciais de ET.

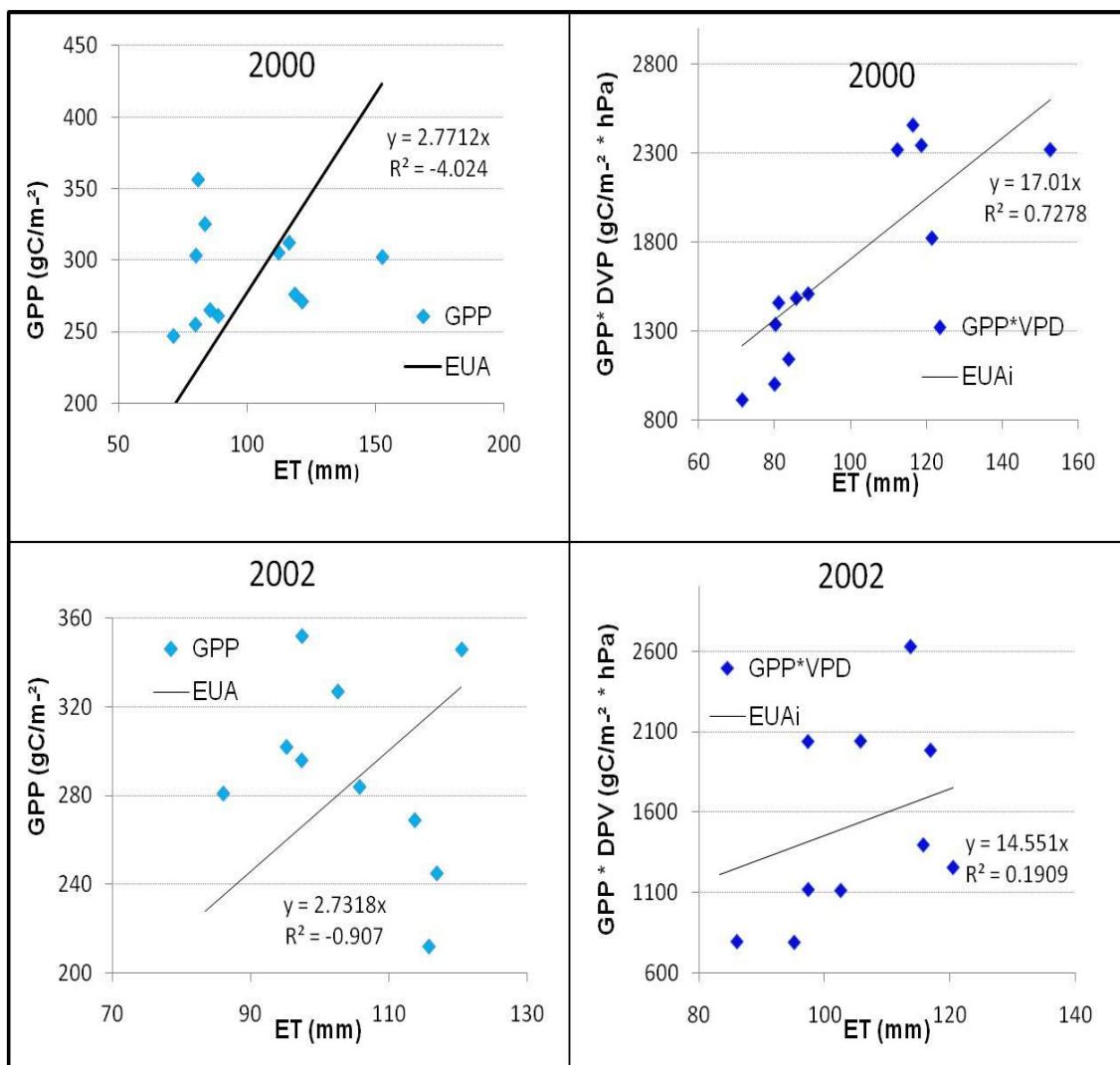


Figura 10 - Relações entre os valores mensais de GPP e ET observadas no sítio experimental de floresta primária, K34, em Manaus, AM.

A Figura 10 apresenta regressões entre os valores mensais de ET, GPP e GPP*VPD, para os anos 2000 e 2002, observados no sítio K34. Os coeficientes angulares destas regressões são equivalentes à EUA e à EUAi. Nota-se, porém, que a

regressão entre GPP e ET com os valores mensais observados não foi significativa, possivelmente devido à dificuldade em se determinar os valores de GPP a partir de dados de torres de fluxo e de um alto grau de incerteza nestes valores. As regressões entre GPP * DPV e ET foram mais significativas. Beer et al. (2009), ao calcular a relação entre essas variáveis para diferentes ecossistemas, também comprovou esta relação, indicando que a relação intrínseca entre os fluxos de carbono e água através da condutância estomática pode ser estendida da escala foliar para a escala dos ecossistemas.

4. 2 Modelo IBIS versão 2D

4.2 1 Modelo IBIS na Amazônia

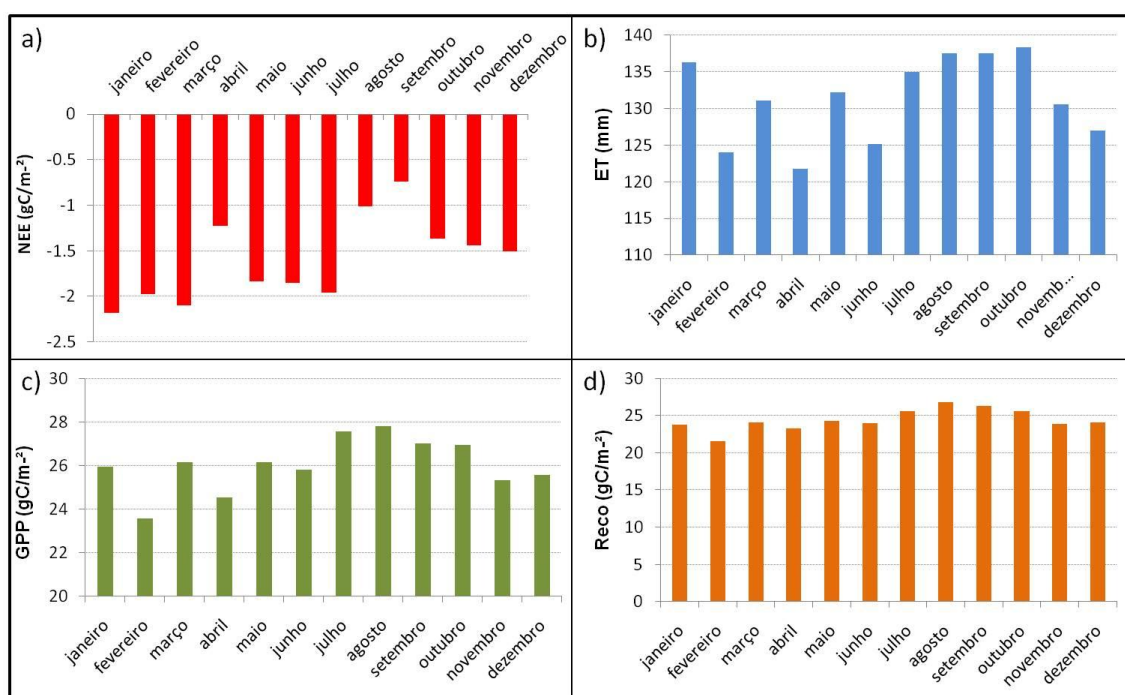


Figura 11 - Totais mensais simulados pelo modelo IBIS- 2D na Amazônia de: a) troca líquida do ecossistema (NEE), b) produção primária bruta (GPP), c) evapotranspiração (ET), d) respiração do ecossistema (Reco), para o sítio experimental K34.

Os resultados mensais simulados apresentados na figura 11 revelam que o modelo IBIS 2D constatou um sumidouro de dióxido de carbono para a região amazônica durante o ano analisado (figura 11a), apresentando uma leve diminuição de absorção de CO₂ no início do período de seco em julho. Observamos também um aumento na ET, GPP e Reco para este período (figura 10 b-c-d). Esses aumentos relacionados à produtividade e ET são mais coerentes com o que foi observado no sítio de floresta (Figura 6), porém como estas simulações são representativas de um ponto de grade do modelo 2D que representa uma escala espacial muito maior do que a escala local da torre de fluxos, uma comparação direta entre as simulações e os dados observados na torre não é adequada. É interessante observar, no entanto, que o modelo 2D aparentemente não apresenta forte estresse hídrico no período de estiagem, mantendo a atividade fotossintética intensa durante este período. O mesmo ocorre com a respiração do ecossistema, que na Figura 11, aparece como maior durante o período de secas. Embora não possamos validar a representação do modelo frente a dados observacionais, podemos afirmar que numa escala temporal ele representa adequadamente a variação temporal do clima e das trocas de carbono.

4.2 2 Modelo IBIS no Cerrado

Os resultados simulados pelo modelo IBIS 2D para uma região do Cerrado demonstram que o modelo, em suas atuais parametrizações, não consegue representar adequadamente a variabilidade temporal a região, com relação ao balanço de carbono. O Cerrado é um bioma com sazonalidade marcante, tendo um período longo de estiagem, que geralmente tem início na segunda quinzena de março, e termina no mês de setembro. A representação do modelo indica que esta estiagem causa forte impacto no ciclo de carbono e água, principalmente no período de junho a novembro. Esses valores podem ser observados na figura 12a onde o mês de junho revela uma diminuição drástica na captação de CO₂, e o ecossistema torna-se uma fonte de CO₂ para a atmosfera. Nas figuras 12c-b-d, observamos que os valores de GPP, ET e NPP também são marcados pelos meses de junho e novembro, delimitando o período de estiagem representado pelo modelo.

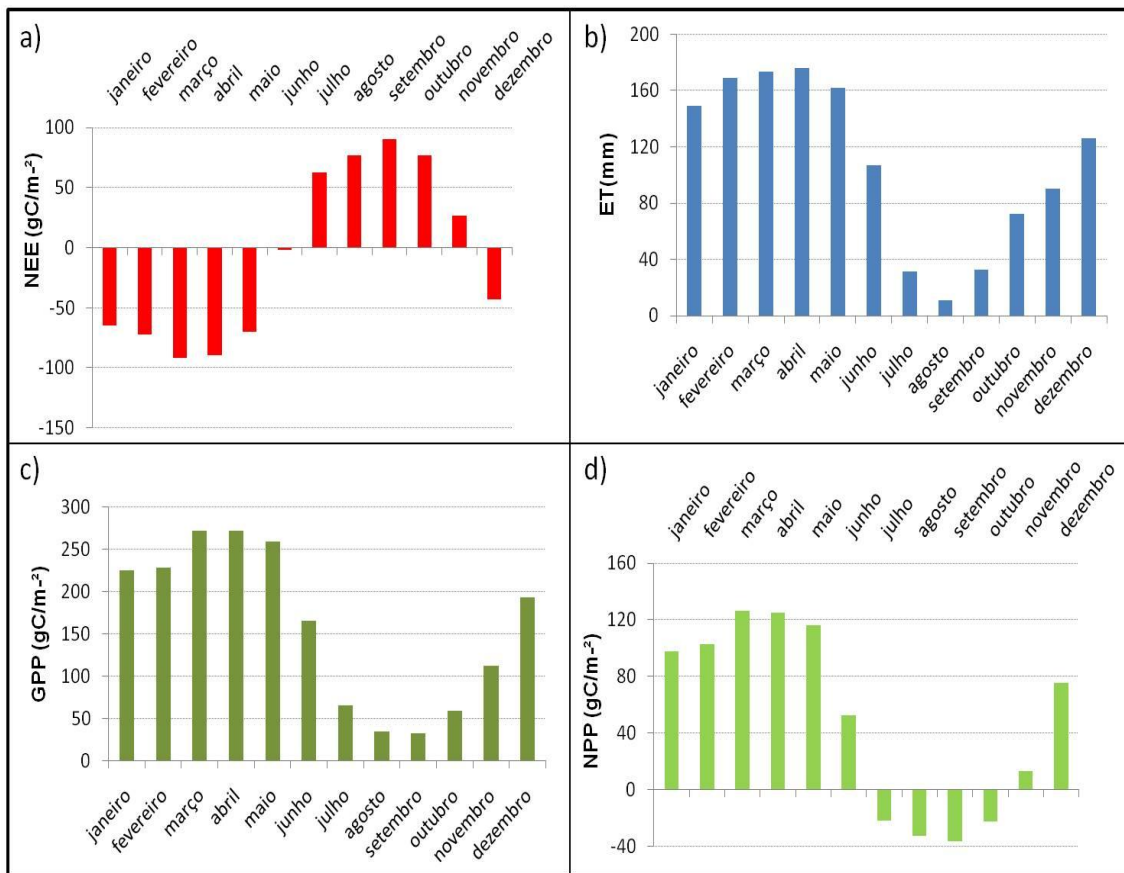


Figura 12 - Totais mensais simulados pelo modelo IBIS- 2D no Cerrado ; a) troca líquida do ecossistema (NEE), b) produção primária bruta (GPP), c) evapotranspiração (ET), d) produção primária líquida (NPP), para o sítio experimental K34.

Observamos que o modelo consegue representar os contrastes sazonais de produtividade no cerrado, que é caracterizado pela grande diminuição da fitomassa foliar e transpiração, devido à diminuição da atividade fotossintética em resposta a diminuição da disponibilidade de recursos hídricos. Este resultado revela uma resposta funcional dos tipos de vegetação do Cerrado em IBIS (estratos de árvores caducifólias e de herbáceas), sensíveis e compatíveis às variações climáticas do ambiente.

4.2.3 A EUA pelo modelo IBIS-2D

A Figura 13, apresenta os valores de EUA para os biomas Amazônico e Cerrado fornecidos pelo modelo IBIS- 2D.

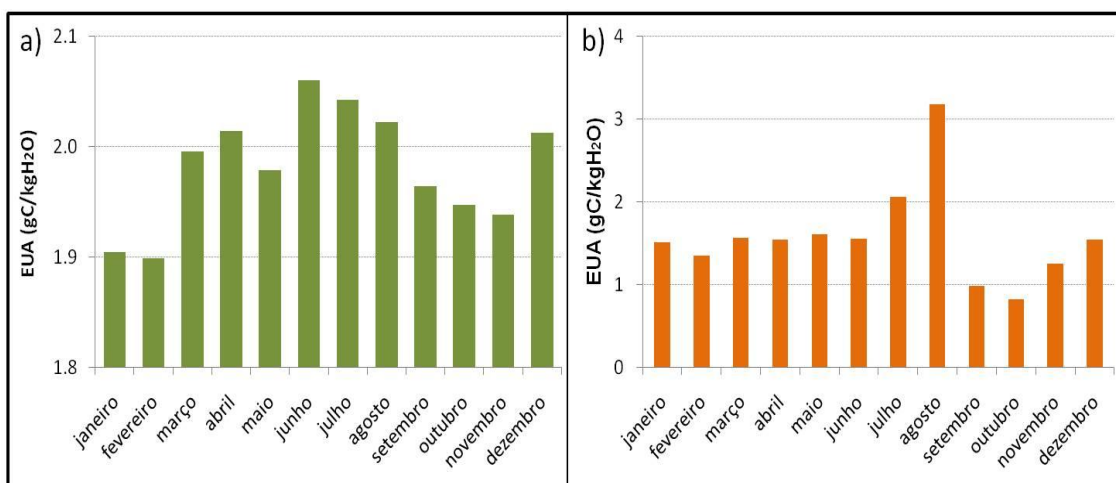


Figura 13 - Valores mensais da eficiência no uso da água simulados pelo modelo de biosfera IBIS-2D nos biomas a) Amazônico e b) Cerrado.

O cálculo da eficiência do uso da água baseado nos dados modelados para os biomas, Amazônia e Cerrado, revelam que o início de seus períodos de estiagem são caracterizados por valores opostos de EUA. Nas simulações realizadas para a Amazônia, Figura 13a, notamos uma tendência da EUA diminuir nos meses de junho a agosto, enquanto para o Cerrado esses valores aumentam acentuadamente. Essa resposta está diretamente relacionada aos valores de GPP e ET simulados para ambos os biomas. Para o Cerrado temos uma queda nos valores de GPP e ET no início do mês de junho enquanto para a Amazônia, um aumento.

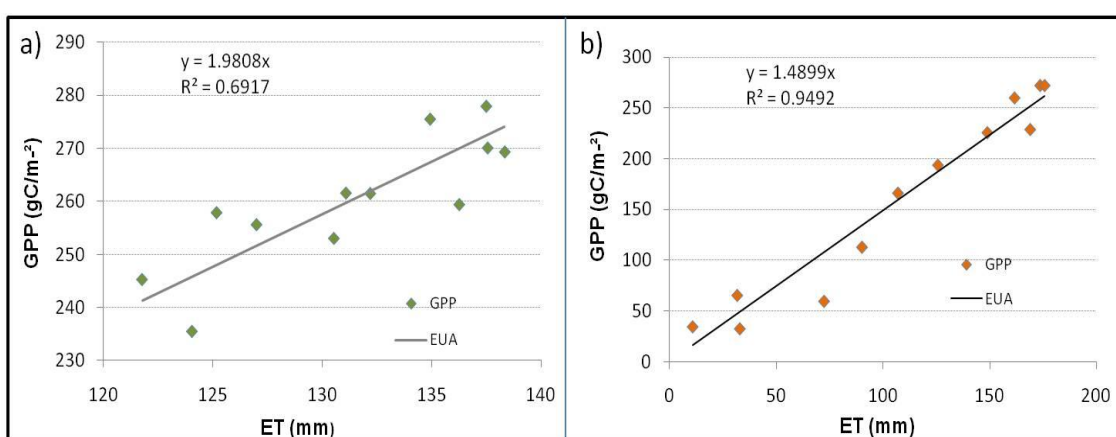


Figura 14 - Relações encontradas entre a Evapotranspiração e a Produtividade encontradas nas simulações do modelo IBIS-2D para os dois biomas em estudo.

As relações empíricas encontradas a partir dos dados simulados de GPP e ET, pela versão 2D do modelo, revelam que existe uma maior relação entre essas variáveis para o bioma Cerrado. No entanto, nada se pode afirmar sobre o resultado encontrado, pois não temos dados observados disponíveis para inferir sobre a verdadeira EUA neste bioma. Porém, na literatura existem evidências de que as gramíneas conseguem ser bem mais eficientes quanto ao uso da água, do que as árvores tropicais. Isto acontece devido à suas características fisiológicas, as quais permitem que elas se desenvolvam a altas intensidades luminosas e em altas temperaturas. Essas plantas também possuem maior eficiência em captar e armazenar o carbono oriundo do CO₂, através da via de carboxilação C₄, o que permite gerenciar melhor a abertura estomática. (BUCKERIDGE, 2008).

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSÕES

A Floresta Amazônica e o Cerrado abrangem grande parte do território nacional e desempenham papéis importantes no que se diz respeito aos fluxos de água, energia, carbono, tanto em escala regional quanto global. Desta forma, entender a dinâmica sazonal e o funcionamento das trocas de carbono e água nestes ecossistemas nos permitem inferir sobre influência do clima na vegetação, e obter possíveis parâmetros para utilização em modelos de superfície terrestre, melhorando a representação prognóstica das alterações climáticas sobre a vegetação.

Este trabalho analisou a EUA no Bioma Amazônico e Cerrado através de observações de uma torre de fluxos e de simulações do modelo de biosfera terrestre IBIS. A representação da EUA através do cálculo $EUA = GPP/ET$ revelou uma diminuição da eficiência nos períodos de estiagem, resultado que não era esperado, devido a diversos mecanismos fisiológicos encontrados pelas plantas para controlar a perda de água nestas fases do ano. Possivelmente devido a incertezas nos dados observacionais de GPP e ET, as regressões entre estas variáveis não deram resultados significativos. Por outro lado, o método proposto por Beer et al. (2009), onde a eficiência do uso da água leva em consideração um dos principais fatores responsáveis pelo controle da transpiração foliar, o déficit de pressão de vapor, apresentou regressões mais significativas, indicando um aumento da eficiência de uso da água inerente, ou seja, maior assimilação de carbono em relação à condutância estomática, na floresta Amazônica durante os períodos secos.

As simulações do modelo IBIS, realizadas em suas versões pontual (0D) e bidimensional (2D), mostraram que, em geral, o modelo apresentou um médio desempenho, devido a dificuldades na representação do estresse hídrico para a versão pontual e a “amenização” deste fenômeno na versão bidimensional. Em trabalhos futuros, recomenda-se analisar em mais detalhes a estrutura do código do modelo com relação ao módulo de biogeoquímica do solo, onde estão inseridos os parâmetros

responsáveis pela umidade, para uma melhor representação dos efeitos de estresse hídrico nas componentes do balanço de carbono.

Resultados das simulações do modelo IBIS 2D para a Amazônia e o Cerrado revelam que o modelo consegue simular as trocas de carbono para cada um dos biomas, representando suas características intrínsecas quanto à GPP, NEE e ET, que durante o período de estiagem fornecem respostas características da vegetação quanto a liberação, captação de CO₂ e perda de água. No caso do Cerrado, o modelo representa caracteristicamente a acentuada diminuição de produtividade e evapotranspiração, encontradas no bioma.

Neste sentido, podemos afirmar que o modelo IBIS possui grande potencial na representação das interações entre a biosfera e atmosfera. Assim, pretende-se dar continuidade ao trabalho de “Avaliação da eficiência no uso da água em diferentes biomas brasileiros”, utilizando o modelo IBIS, com o intuito de analisar e buscar as possíveis deficiências no código do modelo quanto à representação de umidade no solo, que possam melhorar os efeitos da sazonalidade climática nas trocas de água e carbono.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, R. G et al. **Fluxos de massa e energia em uma floresta tropical no sudoeste da Amazônia.** Revista Brasileira de Meteorologia, v.21, n.3b, p.248-257, 2006. Disponível em: <http://www.engenhariaambiental.unir.br/admin/prof/arq/Aguiar_2006_Atual.pdf> Acesso em: 17 abr 2010

ALMEIDA, A. C.; SOARES, J. V. **Comparação entre uso de água em plantações de Eucalyptus grandis e floresta ombrófila densa (Mata Atlântica) na costa leste do Brasil.** Revista Árvore. v. 27, n. 2, p. 159-170, 2003.

ARAÚJO, A. C.; et al. **Comparative measurements of carbon dioxide fluxes from two nearby towers in a central Amazonian rainforest: The Manaus LBA site.** J. Geophys. Res. v. 107, p. 58-1 – 58-20, 2002.

ARAGÃO, L.E.O.C de., SHIMABUKURO, Y.E.. **Perspectivas para o estudo da biogeoquímica do carbono em macro-escala integrando diferentes técnicas: modelagem ecológica, sensoriamento remoto e SIG,** São José dos Campos: INPE, 2003. 97 p. (INPE-10731-RPQ/757). Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/sergio/2004/06.17.10.00>> Acesso em: 30 mai. 2010.

BARNARD, H.R.; RYAN, M.G. **A test of the hydraulic limitation hypothesis in fastgrowing Eucalyptus saligna.** Plant, Cell and Environment, Oxford, v.26, p.1235-1245, 2003.

BEER, C., et al. **Temporal and among-site variability of inherent water use efficiency at the ecosystem level,** Global Biogeochemical Cycles, 23, GB2018, doi:10.1029/2008GB003233, 2009.

BUCKERIDGE, M.S. et al. **Respostas de plantas às mudanças climáticas globais.** In: Biologia e Mudanças Climáticas no Brasil. Biologia e Mudanças Climáticas no Brasil. Organizado por Marcos Silveira Buckeridge - São Carlos: Rima Editora, 2008. 316p. ISBN – 978-85-7656-143-9

CHAUVEL, A., et al. **On the genesis of soil mantle of the region of Manaus, Central Amazonia.** Experientia 43:234-241, 1987.

COSTA, M.H., et al. **Estado-da-arte da simulação da taxa de fixação de carbono de ecossistemas tropicais**. Revista Brasileira de Meteorologia, v.24, n.2, 179-187, 2009.

COSTA, M.H. **Incertezas no ciclo do carbono nos dias atuais e nos cenários do IPCC**. In: III Conferencia Regional sobre Mudanças Climáticas, 2007, São Paulo. Disponível em: < <http://www.iea.usp.br/iea/online/midiateca/crmg3-marcosheilcosta.pdf>>

FEARNSIDE, P.M. **As Mudanças Climáticas Globais e a Floresta Amazônica**. In: Biologia e Mudanças Climáticas no Brasil. Organizado por Marcos Silveira Buckeridge - São Carlos: Rima Editora, 2008. 316p. ISBN – 978-85-7656-143-9

FIELD, C. B., et al. **Global net primary production: combining ecology and remote sensing**. Remote Sensing of the Environment, v. 51, p. 74-88, 1995.

FOLEY, J.A. et al. **An integrated biosphere model of land surface processes, terrestrial carbon balance and vegetation dynamics**, Global Biogeochemical Cycles, 10 (4), 603-628, 1996.

FOLEY, J. A. et al. **Green surprise? How terrestrial ecosystems could affect earth's climate**. Frontier Ecology Environmet. v. 1 n. 1, p. 38-44, 2003.

FOLEY, J. A.; RAMANKUTTY, N. **A primer on the terrestrial carbon cycle: what we don't know but should**. In: FIELD, C. B.; RAUPACH, M. R. (Ed.). **The global carbon cycle**. Washington: Island Press, 2004. cap. 14, p. 279-294.

FUJISAKA, S., et al. **The effects of forest conversion on annual crops and pastures: estimates of carbon emissions and plant species loss in a Brazilian Amazon colony**. Agriculture, Ecosystems and Environment, v. 69, p. 17-26, 1998.

GOULDEN, M.L, et al. **Diel and seasonal patterns of tropical forest CO₂ exchange**. Ecological Applications, 14, S42-S54 Supplement, 2004.

GUCCI, R., et al. **The effect of drought and vapour pressure deficit on gas exchange of young kiwifruit (*Actinidia deliciosa* var. *deliciosa*) vines**. Annals of Botany, Oxford, v.77, p. 605-613, 1996.

IMBUZEIRO, H. M. A. **Calibração do modelo IBIS na Floresta Amazônica usando múltiplos sítios**. 2005. 67f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005. Disponível em: <<ftp://ftp.bbt.ufv.br/teses/meteorologia%20agricola/2005/192176f.pdf>>. Acesso em: 05 set 2009.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Monitoramento da floresta Amazônica brasileira por satélite: 1998 - 2000** (São José dos Campos, Brasil: 2001). Disponível em: < http://www.inpe.br/Informacoes_Eventos/amazonia.htm> Acesso em: 10 jan 2010.

International Panel on Climate Changes (IPCC). **Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Disponível em: <http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/099.htm>. Acesso em, 20 out 2009.

KUCHARIK, C. J., et al. **Testing the Performance of a Dynamic Global Ecosystem Model: Water Balance, Carbon Balance, and Vegetation Structure**, Global Biogeochemical Cycles, 14 (3), 795–825, 2000.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. Ed. RIMA São Carlos, SP, 2000.

LEOPOLDO, P.R., et al. **Towards a water balance in Central Amazonian region**. *Experientia* 43:222-233, 1987.

MIELKE, M.S. **Regulação fisiológica e ambiental das trocas gasosas num plantio clonal de híbridos de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden**. 1997. 92p. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

MEDEIROS, A.T. **Estimativa da evapotranspiração de referencia a partir da equação de Penman-Monteith, de medidas lisimétricas e de equações empíricas, em Paraipaba, CE**. 2002. 120p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem)- Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11143/tde-16072002-140154/> Acesso em: 07 fev 2010

ODUM, E. P. 1983. **Ecologia**. 3ª. ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara, Brasil. 434 p

OLESON, K. W., et al. **Improvements to the Community Land Model and their impact on the hydrological cycle**, J. Geophys. Res., 113, G01021, doi:10.1029/2007JG000563, 2008.

OLIVEIRA, A. N et al. 2002. **Composição e diversidade florística de uma floresta ombrófila densa de terra firme na Amazônia Central, Amazonas, BRASIL**, 2a. Conferência Científica Internacional do LBA, Manaus/AM, julho 2002.

PROGRAMA DE GRANDE ESCALA DA BIOSFERA - ATMOSFERA NA AMAZÔNIA -LBA. Banco de imagens LBA. **Localização dos sítios de pesquisa LBA na floresta amazônica**. 9999px X 6786px. Disponível em: <<http://lba.inpa.gov.br/fotos/?pag=LBA>> Acesso em: 15 jun 2010.

ROCHA, H. R.; et al. **Seasonality of water and heat fluxes over a tropical Forest in eastern Amazonia**. Ecol. Appl. v. 14, p. S22-S32, 2004. Disponível em: <http://www.esajournals.org/doi/abs/10.1890/02-6001>> Acesso em: 11/04/2010

SALESKA, S.R, et al. **Carbon in Amazon forests: Unexpected seasonal fluxes and disturbance - induced losses**. Science, 302: 1554-1557, 2003. Disponível em: <http://adsabs.harvard.edu/abs/2003Sci...302.1554S> Acesso em: 18/04/2010

SARMIENTO, G., et al. **Afaptive strategies of woody species in neotropical savanas**. Biological Review, v.60, p.315-355, 1985.

SELLERS, P. J.; et al. **Modeling the exchanges of energy, water, and carbon between continents and the atmosphere**. Science, v. 275, n. 24, p. 502- 509, 1997.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

WEVE, L. A.; et al. **Seasonal and interannual variation in evapotranspiration, energy balance and surface conductance in a northern temperate grassland**. Agricultural and Forest Meteorology. v.112, p. 31-49, 2002.