Avaliação da Eficiência do uso da água em biomas brasileiros pelo modelo de biosfera IBIS

Emily Ane Dionizio da Silva[a]; Suzana Maria Inácio de Carvalho; Celso Von Randow; Jorge Alberto Bustamante Becerra ; Íris Amati Martins

[a]Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, Rodovia Presidente Dutra, km 40, 12630-000 Cachoeira Paulista- Brasil, Email: { emily.silva; suzana.carvalho;celso.vonrandow; jorge.bustamante; iris.martins } @inpe.br

Resumo

Neste trabalho avaliamos a eficiência do uso da água (EUA) nos biomas Amazônia e Cerrado, utilizando o modelo de superfície IBIS. O IBIS é um modelo de biosfera terrestre 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 na Amazônia, e 2D no Cerrado. Na versão 0D, o modelo foi ajustado com parâmetros de calibração e dados micrometeorológicos para o sítio experimental do programa LBA (*Large-Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia*), K34. 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. Com base nos dados observacionais e simulados, calculamos a EUA, assumindo que GPP (*Gross Primary Productivity*) equivale à taxa de difusão de moléculas de CO2 para o interior da folha, e ET (*Evapotranspiration*), equivale à taxa de difusão de H2O para fora da folha, e, desta forma EUA = GPP/ET. A versão 0D apresentou dificuldade em simular a variabilidade mensal dos fluxos na Amazônia, apresentando um forte estresse hídrico durante a estiagem o que não é observado, influenciando os valores de GPP, ET e NEE (*Net Exchange Ecossystem*). A versão 2D, no entanto, melhora esta representação, onde os picos de produtividade ocorrem durante a estação seca e diminuem na estação chuvosa. No Cerrado, o modelo simulou valores de NPP(*Net Primary Productivity*) com grande variação sazonal, em resposta à variação climática da região, à 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, 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

We evaluated the WUE (Water Use Efficiency) in Amazonia and Cerrado biomes, using the surface model IBIS. IBIS is a terrestrial biosphere model 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. In the 2D version, the model simulated a domain covering South America, where we extracted representative grid points of the biomes. Based on the observed and simulated data, we calculated the ecosystem WUE, assuming that GPP corresponds to the rate of diffusion of CO_2 molecules into the leaves, and the ET corresponds to the rate of diffusion of H_2O molecules outside of the leaves, and therefore WUE = GPP / ET. In the 0D version the model had 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 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.

1. Introdução

Os ecossistemas tropicais exercem um importante papel na regulação ciclo de carbono e água, influenciando o clima regional e global. A Amazônia, floresta tropical úmida, 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). O Cerrado, caracterizado por um mosaico de fitofisionomias que vai desde formações florestais à formações savânicas e campestres, também desempenha papel fundamental no processo de distribuição dos recursos hídricos, já que é o local de origem das grandes bacias hidrográficas brasileiras e do continente sul americano (LIMA & SILVA, 2008).
A disponibilidade de dados climáticos em diferentes escalas de tempo é fundamental para se discutir a origem e a manutenção de um ecossistema, 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 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.

2. Material e métodos

2.1 Áreas de estudo

As áreas em estudo compreendem áreas dos biomas brasileiros Amazônia e Cerrado, sendo que para a Amazônia, foi utilizado o sítio experimental do programa LBA (*The Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazônia*) K34, que está localizado na Reserva Florestal de Cuieiras, no município de Manaus – AM (02°36'S, 60°12'W). Para o Cerrado, selecionamos uma área localizada à 09.25°S e 46.25W.

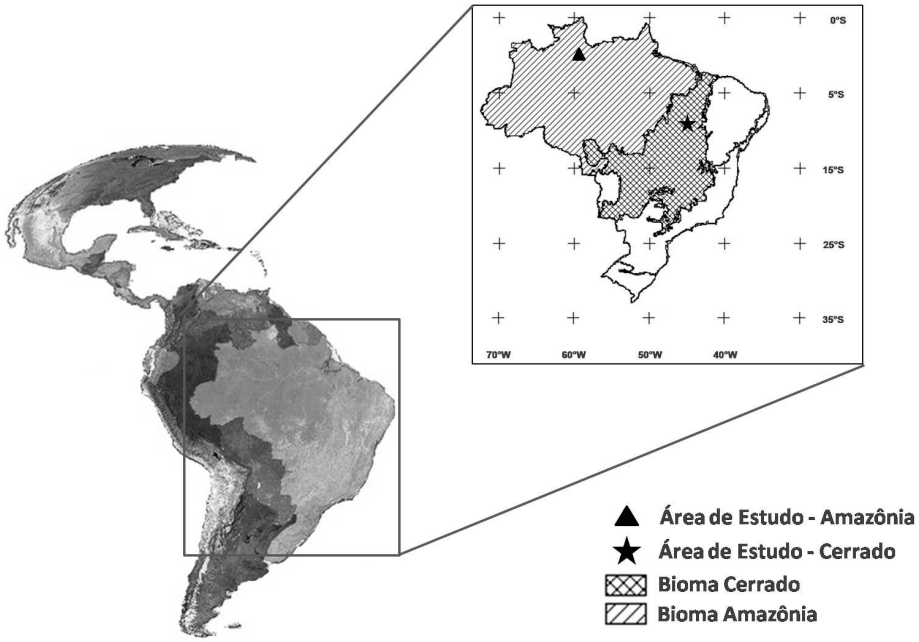

Figura 1.Localização das áreas de estudo

2.3 Descrição do modelo IBIS

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).

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 trabalho.

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.

2.4 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 CO_2 para o interior da folha, e a taxa de transpiração (ET), equivale taxa de difusão de H_2O 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 (1)

onde GPP é a produção primária bruta, em gC/m-2, e ET é a evapotranspiração em mm.

3. Resultados e discussão

3.1 Modelo IBIS versão 0D

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.

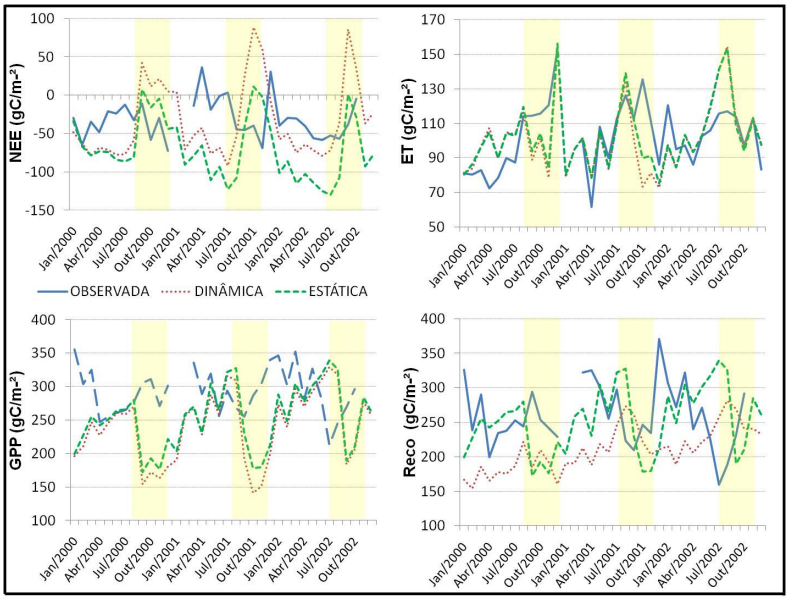

Figura 2. Observações e simulações do modelo IBIS de a) troca líquida do ecossistema (NEE), b) produção primária bruta (GPP), c) evapotranspiração (ET), d) respiração do ecossistema (Reco), para o sítio experimental K34. A estação seca em cada figura é representada pelas áreas sombreadas em amarelo.

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 (Figura 2). 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.

Na análise dos totais anuais, constatamos 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.

A representação temporal da EUA, ilustrada na Figura 3, revela que durante a estação seca há uma tendência em diminuir a eficiência no uso da água, e que o modelo IBIS, apesar de subestimar os valores,captura esta variação. 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. 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.

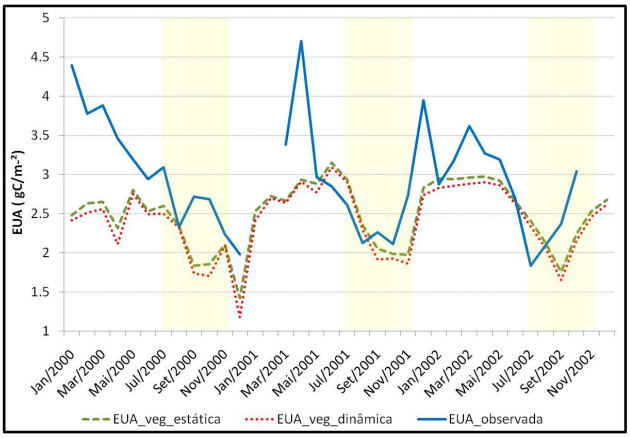

Figura 3. Representação temporal da eficiência do uso da água observada e simulada pelo modelo IBIS em modo de vegetação estática e dinâmica. As colunas em amarelo representam à estação seca dos anos correspondentes.

3.2 Modelo IBIS versão 2D na Amazônia

Os resultados mensais simulados apresentados na Figura 4 revelam que o modelo IBIS 2D constatou um sumidouro de dióxido de carbono para a região amazônica durante o ano analisado, 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. Esses aumentos relacionados à produtividade e ET são mais coerentes com o que foi observado no sítio de floresta (Figura 2), 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 4, 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.

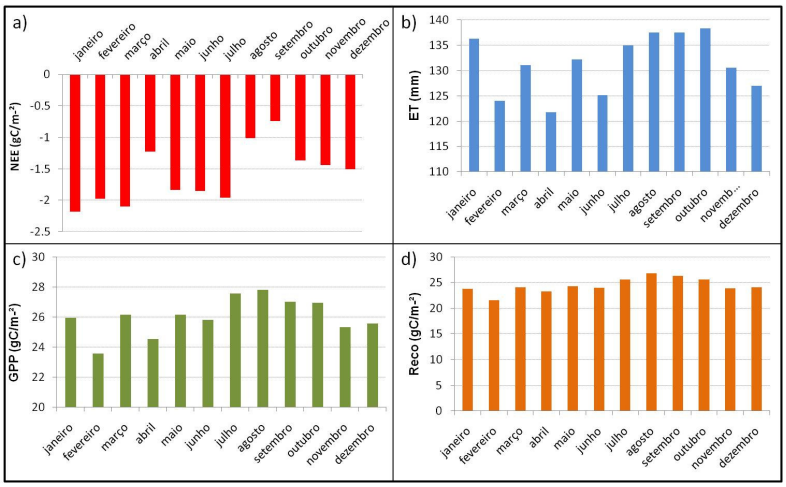

Figura 4. Totais mensais simulados pelo modelo IBIS- 2D na Amazônia de: a) troca líquida do ecossistema (NEE), b) evapotranspiração (ET), c) produção primária bruta (GPP), d) respiração do ecossistema (Reco), para o sítio experimental K34.

3.3 Modelo IBIS versão 2D no Cerrado

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 5a onde o mês de junho revela uma diminuição drástica na captação de CO2, e o ecossistema torna-se uma fonte para a atmosfera.

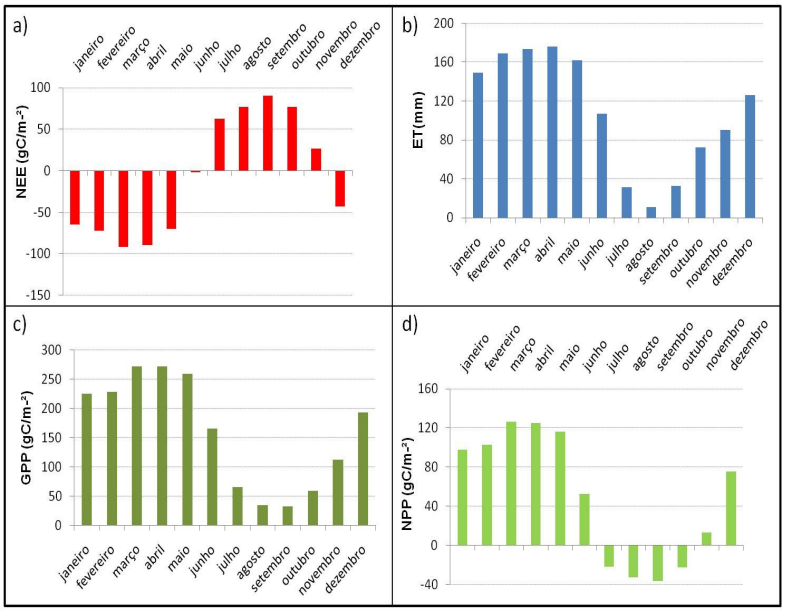

Figura 5. Totais mensais simulados pelo modelo IBIS- 2D no Cerrado ; a) troca líquida do ecossistema (NEE), b) produção primária bruta (GPP), c) evapotranspiração (ET), d) produção primária líquida (NPP), para o sítio experimental K34.

Nas Figuras 5 c-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.

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.

3.4 A EUA pelo modelo IBIS-2D

A Figura 6, apresenta os valores de EUA para os biomas Amazônico e Cerrado calculados a partir dos valores obtidos pelo modelo IBIS- 2D.

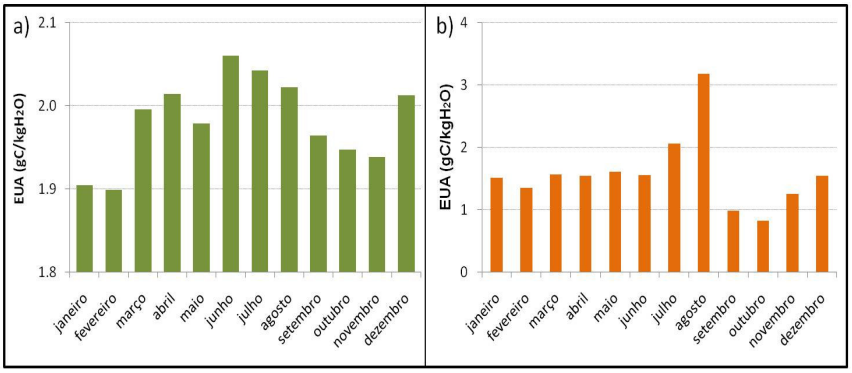

Figura 6. Valores mensais da eficiência no uso da água simulados pelo modelo de biosfera IBIS-2D nos biomas Amazônia (a) e Cerrado (b).

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 6a, 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 inicio do mês de junho enquanto para a Amazônia, um aumento.

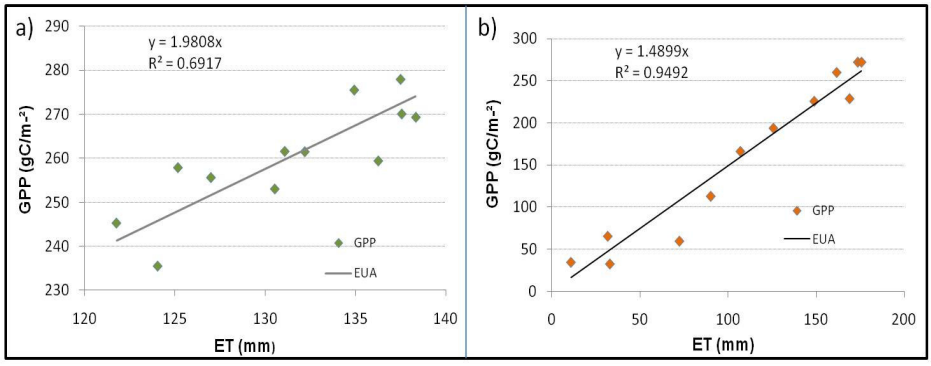

Figura 7. Relações encontradas entre a Evapotranspiração e a Produtividade encontradas nas simulações do modelo IBIS-2D para os dois biomas em estudo.

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 (Figura 7-b). No entanto, nada se pode afirmar sobre o resultado encontrado, pois não temos dados observados disponíveis para inferir sobre a verdadeira EUA neste bioma.

Em contrapartida, na literatura existem evidencias 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, permitindo gerenciar melhor a abertura estomática (BUCKERIDGE, 2008).

4. Conclusões

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.

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 bibliográficas

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.

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.

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.

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.

Lima & silva, 2008. Recursos hídricos do bioma Cerrado – Importância e situação. In: Cerrado : Ecologia e Flora, Sano, S.M; Almeida, S.P. de; Ribeiro, J.F., Embrapa Cerrados- Brasília, DF. Embrapa Informação Tecnológica, 2008. v.1. 407p.

Oleson, K. W., *et al.* Improvements to the Community Land Model and their impact on the hydrological cycle, J. Geophys. Res., 113, G01021, 2008.

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.