



## XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

### *O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros*

#### **Biomassa viva acima do solo na Amazônia em cenários de mudanças climáticas**



*Leydimere J. C. Oliveira<sup>1</sup>; Marcos H. Costa<sup>2</sup>; Britaldo S. Soares Filho<sup>3</sup>; Marcelo J. de Oliveira<sup>4</sup>*

<sup>1</sup> Eng. Ambiental, Prof. Adjunta, Campus Itaqui, Unipampa, Itaqui – RS, Fone: (55) 3433-1669, leydimereoliveira@unipampa.edu.br

<sup>2</sup> Eng. Agrícola, Prof. Titular, Depto. de Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa – MG, mhcosta@ufv.br

<sup>3</sup> Geólogo, Prof. Titular, Depto. de Cartografia, UFMG, Belo Horizonte – MG, britaldo@csr.ufmg.br

<sup>4</sup> Eng. Agrimensor, Prof. Assistente, Campus Itaqui, Unipampa, Itaqui – RS, marcelojorge@unipampa.edu.br

**RESUMO:** Objetivando-se avaliar a biomassa viva acima do solo (AGB) na Amazônia em diferentes cenários climáticos futuros foram realizadas simulações utilizando dados mensais do banco de dados construído por Sheffield *et al.* (2006). Também foram simuladas alterações na AGB, para os anos de 2020 e 2050, considerando-se as condições climáticas futuras projetadas para o cenário A2, por diferentes modelos de circulação geral da atmosfera do 4º relatório do IPCC. Além das condições climáticas futuras, também foi considerado o efeito fisiológico da elevação da concentração de CO<sub>2</sub> na assimilação de carbono pelo ecossistema natural. Para a simulação controle, a AGB modelada para o ecossistema natural, incluindo folhas e tronco, na Amazônia, variou de 5,1 a 20,7 kgC.m<sup>-2</sup>, com valor médio 17,9 kgC.m<sup>-2</sup>, geralmente decrescendo de norte para o sul. Como resposta às mudanças climáticas, os resultados indicam um decréscimo significativo da AGB do ecossistema natural em todos os modelos testados. Ademais, o efeito fisiológico do CO<sub>2</sub> apenas foi suficiente para atenuar os efeitos negativos das condições climáticas futuras na AGB na região ocidental da Amazônia.

**PALAVRAS-CHAVE:** serviço ecossistêmico, estoque de carbono, modelagem ambiental

### **Living aboveground biomass in Amazon in climate change scenarios**

**ABSTRACT:** To evaluate the living aboveground biomass (AGB) in the Amazon in different future climate scenarios simulations were performed using database monthly data built by Sheffield *et al.* (2006). Were also simulated changes in AGB, for the years 2020 and 2050, considering future climate conditions projected for the A2 scenario, for different atmosphere general circulation models of 4th IPCC report. In addition to the future climate conditions, was also considered the physiological effect of elevated CO<sub>2</sub> concentration in carbon assimilation by natural ecosystem. For the simulation control, AGB modeled to natural ecosystem, including leaves and stem, in the Amazon, ranged from 5.1 to 20.7 kgC.m<sup>-2</sup>, with an average 17.9 kgC.m<sup>-2</sup>, generally decreasing from north to south. In response to climate change, the results indicate a significant decrease in AGB of the natural ecosystem in all models tested. Furthermore, the physiological effect of CO<sub>2</sub> was only sufficient to mitigate the negative effects of future climate conditions in AGB in the western region of the Amazon.

**KEY WORDS:** ecosystem service, carbon stock, environmental modeling

## **INTRODUÇÃO**

A floresta amazônica desempenha um papel singular no ciclo do carbono terrestre, uma vez que estoca aproximadamente 100 bilhões de toneladas de carbono (Malhi *et al.*, 2006), o que é equivalente a mais de 10 anos das emissões globais de combustíveis fósseis (Davidson *et al.*, 2012). Deste modo, a

***O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros***

Amazônia oferece um importante serviço ambiental para o planeta, armazenando carbono orgânico na biomassa e no solo e retirando gases de efeito estufa da atmosfera. A redução ou a degradação da cobertura florestal pode afetar diretamente o armazenamento de carbono, através de perdas de biomassa da vegetação e de carbono do solo (Foley *et al.*, 2007).

A dinâmica do carbono numa floresta é dominada pela assimilação de CO<sub>2</sub> através da fotossíntese, pela liberação de carbono através da respiração autotrófica, pela transferência de carbono para o solo sob a forma de serapilheira (folhas, galhos, e raiz), pela exudação de compostos orgânicos na rizosfera e pela eventual liberação desse carbono do solo através da decomposição e da respiração de micróbios e de outros heterótrofos (Malhi e Grace, 2000).

Os ecossistemas terrestres podem influenciar o clima, alterando a quantidade de CO<sub>2</sub> na atmosfera por meio de retroalimentações biogeoquímicas que ocorrem como resultado das interações entre o clima e os ecossistemas terrestres. O aquecimento global pode afetar a habilidade dos ecossistemas terrestres de processarem carbono através da fotossíntese e da respiração. As mudanças no reservatório de carbono terrestre induzidas pelo clima podem afetar a quantidade de CO<sub>2</sub> na atmosfera e, como resultado, criar uma retroalimentação sobre o clima (Foley *et al.*, 2003).

Os modelos climáticos usados no 4º relatório do IPCC apresentam tendências de estação seca menos chuvosa no leste e uma estação chuvosa no oeste com mais precipitação para a Bacia Amazônica (IPCC, 2007). Como a maioria desses modelos não incorpora as retroalimentações climáticas da perda de floresta, uma avaliação mais cuidadosa da capacidade do modelo de capturar elementos-chave da variabilidade do clima amazônico é necessária. Quando os efeitos de aumento de temperatura são incluídos na evapotranspiração, quase todos os modelos indicam aumento sazonal do déficit hídrico na região oriental da Amazônia (Salazar *et al.*, 2007). Esta secagem é agravada pelas retroalimentações do ecossistema, tais como: mortalidade da floresta e a redução da transpiração nas florestas remanescentes (Betts *et al.*, 2004). As áreas de maior risco de seca (sudeste e leste) são também as áreas onde o desmatamento é mais intenso. Mudanças na precipitação oriundas do desmatamento podem ser mais fortes no corredor oriental seco, onde correntes de ventos geradas no oceano passam pela região durante a noite e não têm condições para ocasionar muita chuva (Garstang *et al.*, 1994). Esta área inclui importante fronteira agrícola que está experimentando níveis elevados de desmatamento. Em contrapartida, a região noroeste do Amazonas é menos propensa a secas severas, já que a alta precipitação ali é controlada pela convergência úmida forçada pela Cordilheira dos Andes. Essa região hospeda a maior biodiversidade e tem sido menos afetada pela variabilidade climática e por históricos usos de solo (Malhi *et al.*, 2008).

Impactos das mudanças no clima da Amazônia são incertos. Ações necessárias para que se gerenciem os riscos associados às incertezas trazem benefícios adicionais para a conservação, resguardando a direção, a magnitude ou a excentricidade regional dessas mudanças. A maioria das ações necessárias deve ser considerada imediatamente, pois a globalização e a integração regional de planos de desenvolvimento estão acelerando as mudanças na Amazônia. As espécies podem se adaptar às mudanças no clima, pois já fizeram assim no passado e provavelmente o farão no futuro, mas precisam ser providas com as condições e o tempo que lhes permitam adaptarem-se (Killeen e Solórzano, 2007).

Neste contexto, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de quantificar a biomassa viva acima do solo na Amazônia em diferentes cenários climáticos futuros.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

A produtividade do ecossistema natural foi simulada por meio do modelo CARLUC 2 versão aprimorada por Litle (2007) do CARLUC (CARbon and Land-Use Change) desenvolvido por Hirsh *et al.* (2004), o qual utiliza seis novas relações dependentes da umidade do solo. Nesta versão, o fator de

***O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros***

água no solo ( $f_{sw}$ ) e as taxas de decomposição do tronco e das folhas ( $k_{stem}$  e  $k_{leaf}$ , respectivamente), bem como os três fatores de partição da produtividade primária líquida (NPP) entre tronco, folhas e raízes finas ( $p_{stem}$ ,  $p_{leaf}$  e  $p_{root}$ ) são calculados mensalmente a partir da quantidade de umidade disponível no solo. Para isso, é utilizada a percentagem máxima de água disponível para a planta (PAWmax%), que foi calculada pela razão entre a quantidade de água armazenada no solo (ARM) e a capacidade de água disponível (CAD) por meio do balanço hídrico climatológico de Thornthwaite e Matther (1955).

A cada mês, no modelo CARLUC 2, carbono no tronco, folha e raízes finas aumentam em um montante igual à produtividade primária líquida (NPP). O cálculo de NPP é baseado no modelo 3-PG de Landsberg e Waring (1997), o qual contém quatro fatores ambientais, sendo que, destes um fator representa a fração absorvida da radiação fotossinteticamente ativa ( $f_{APAR}$ ), e três fatores são funções de ponderação que representam o déficit de pressão de vapor d'água ( $f_{VPD}$ ), a temperatura ( $f_{TEMP}$ ) e a água do solo ( $f_{sw}$ ) (Litle, 2007), conforme a equação a seguir:

$$NPP = ckm \times cue \times PAR \times qe \times f_{Temp} \times \min(f_{sw}, f_{VPD}) \quad (1)$$

ckm: fator de conversão (kgC.mole-C<sup>-1</sup>);

cue: eficiência de uso de carbono (adimensional);

qe: eficiência quântica (mol-C.mol-PAR<sup>-1</sup>);

PAR: radiação fotossinteticamente ativa (molsfotons.m<sup>-2</sup>.mês<sup>-1</sup>);

$f_{APAR}$ : fração absorvida de PAR, calculada pela equação proposta por Monsi e Saeki (1953)

(adimensional):

$$f_{APAR} = 1 - e^{(-k \times LAI)} \quad (2)$$

k: coeficiente de extinção (adimensional);

LAI: índice de área foliar (m<sup>2</sup>.m<sup>-2</sup>);

$f_{sw}$ : fator de água no solo (0-1) (adimensional);

$f_{Temp}$ : fator de temperatura (0-1) (adimensional), calculado pela equação:

$$f_{temp} = \frac{T}{27} \times \left( \frac{40-T}{13} \right)^{0,481} \quad (3)$$

T: temperatura do ar (°C);

$f_{VPD}$ : fator de deficit de pressão de vapor (0-1) (adimensional), calculado pela equação:

$$f_{VPD} = e^{(-0,25 \times VPD)} \quad (4)$$

VPD: deficit de pressão de vapor de água (kPa).

Para estimar aAGB do ecossistema natural atual (controle) foi utilizada a climatologia de precipitação, de temperatura do ar, de radiação solar incidente, de pressão atmosférica e de umidade específica para o período de 1971 a 2000, a partir dos dados mensais do banco de dados construído por Sheffield *et al.* (2006).

Para quantificar os efeitos do clima futuro na AGB da Amazônia foram utilizadas as anomalias das variáveis climáticas, projetadas pelos modelos listados na Tabela 1, para o cenário A2 de aquecimento global proposto pelo IPCC. Foram usadas as médias mensais de vinte anos para os períodos de 2011 a 2030 e de 2041 a 2060 - a partir daqui, tais períodos serão mencionados como anos de 2020 e de 2050, respectivamente. Além das condições climáticas futuras, também foi considerado o efeito fisiológico da elevação da concentração de CO<sub>2</sub> na assimilação de carbono pelo ecossistema natural, Lloyd e Farquhar (2008) constataram que, para um aumento de 170 ppm na concentração de CO<sub>2</sub>, houve um incremento de 30% na assimilação de carbono pelas florestas tropicais. Assumindo-se que esse incremento seria linear, foi utilizado o valor de 0,18%.ppm<sup>-1</sup>. Para o cenário A2, o IPCC (2007) estabelece as seguintes

***O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros***

concentrações de CO<sub>2</sub>: 440 ppm e 559 ppm para os anos de 2020 e 2050, respectivamente. Para a simulação controle, utilizou-se a concentração de 380 ppm. Posteriormente, as simulações para os anos de 2020 e 2050 foram comparadas à simulação controle.

**Tabela 1.** Modelos utilizados nas simulações considerando as mudanças climáticas devido à mudança na composição atmosférica

MODELO	AGÊNCIA	PAÍS
CCSM3	National Center for Atmospheric Research	EUA
CNRM-CM3	Centre National de Recherches Météorologiques	França
GISS-ER	NASA/Goddard Institute for Space Studies	EUA
INM-CM3.0	Institute for Numerical Mathematics	Rússia
IPSL-CM4	Institut Pierre Simon Laplace	França
MRI-CGCM2.3.2	Meteorological Research Institute	Japão
MIROC3.2	Center for Climate System Research, National Institute for Env. Studies, and Frontier Research Center for Global Change	Japão

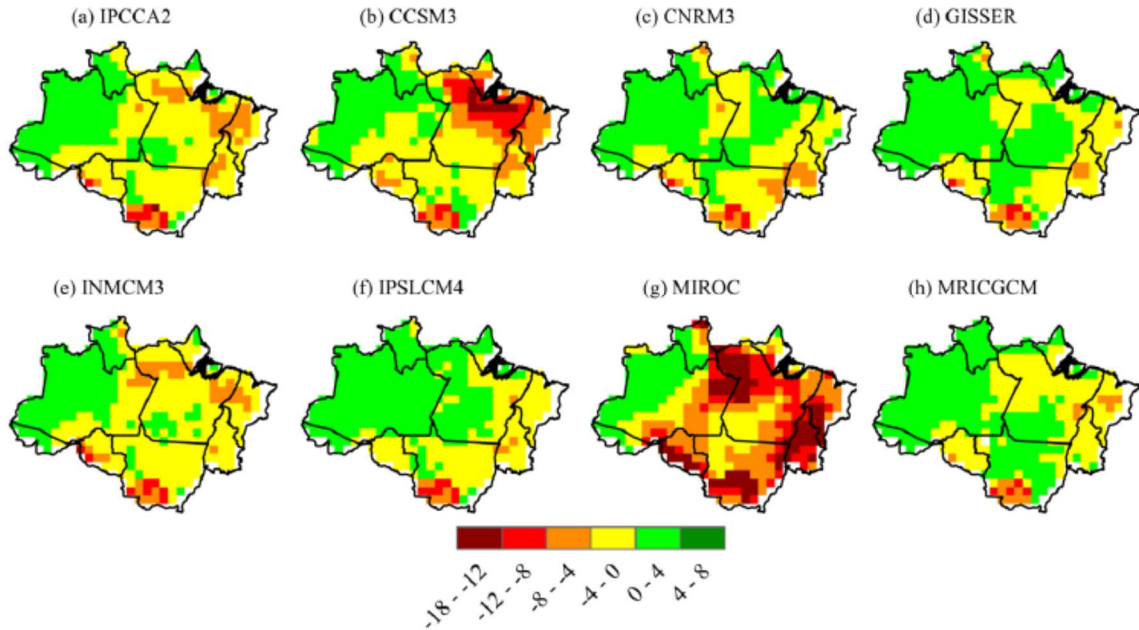
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As anomalias da AGB (kgC.m<sup>-2</sup>), considerando as condições climáticas futuras e o efeito fisiológico do CO<sub>2</sub>, estão representadas na Tabela 2. As anomalias médias de AGB variaram entre -0,1 kgC.m<sup>-2</sup>, que equivale a uma redução de -0,5% para os cenários climáticos propostos pelos modelos IPSLCM4 e GISSER e -5,7 kgC.m<sup>-2</sup>, que equivale a uma redução de -32,1% para o cenário climático proposto pelo modelo MIROC. Para o cenário climático mais provável, o cenário de clima médio (IPCC A2), a anomalia média de AGB foi de -1,2 kgC.m<sup>-2</sup>, equivalente a uma redução de -6,7%, quando comparada à simulação controle (Tabela 2).

**Tabela 2.** Biomassa média para cenário controle (kgC.m<sup>-2</sup>), anomalias de biomassa viva acima do solo (kgC.m<sup>-2</sup>) e % de redução para cada cenário climático futuro para o ano de 2020

CENÁRIO	CONTROLE (kgC.m <sup>-2</sup> )	ANOMALIAS (kgC.m <sup>-2</sup> )	% de redução
IPCC A2		-1,2	-6,7
CCSM3		-2,4	-13,3
CNRM3		-0,6	-3,1
GISSER	17,9	-0,1	-0,5
INMCM3		-1,2	-6,7
IPSLCM4		-0,1	-0,5
MIROC		-5,7	-32,1
MRI-CGCM		-0,7	-1,4

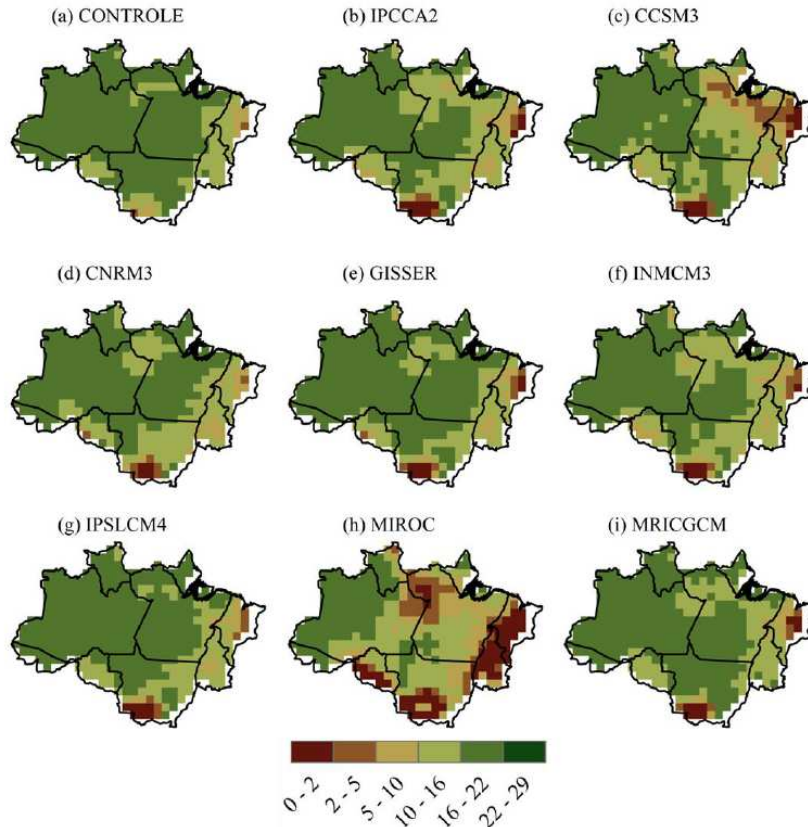
Observa-se que, ao introduzir o efeito fisiológico do aumento da concentração de CO<sub>2</sub> nas simulações, houve incremento na AGB na região nordeste da Amazônia Legal (Figura 1). Para esta região, os efeitos negativos das condições climáticas futuras foram menores que o efeito fisiológico da crescente concentração de CO<sub>2</sub>. Para as demais regiões, o aumento da concentração de CO<sub>2</sub> não foi suficiente para atenuar o efeito das condições climáticas futuras.



**Figura 1.** Anomalias de biomassa viva acima do solo ( $\text{kgC.m}^{-2}$ ), considerando os cenários de clima futuro e o efeito fisiológico do  $\text{CO}_2$  para o ano de 2020: IPCC2 (a), CCSM3 (b), CNRM3 (c), GISSER (d), INMCM3 (e), IPSLCM4 (f), MIROC (g) e MRICGCM (h).

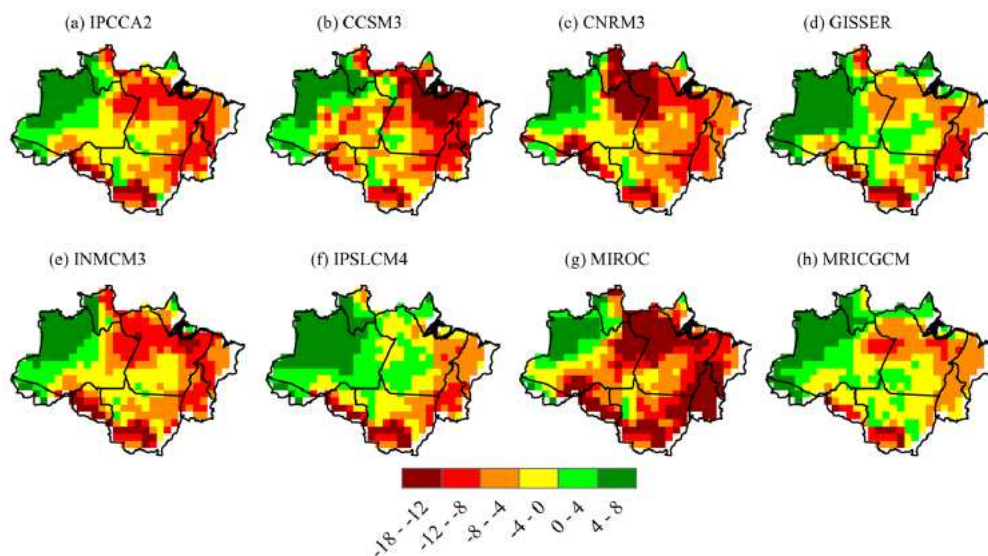
O efeito fisiológico da elevação da concentração de  $\text{CO}_2$  não foi suficiente para atenuar os efeitos das condições climáticas futuras na AGB, com destaque para as regiões sudoeste do estado do Mato Grosso e leste do estado do Maranhão (Figura 2). Por outro lado, houve diminuição de apenas 25% da área com AGB maior que  $22 \text{ kgC.m}^{-2}$  quando comparamos os resultados da simulação do clima médio à simulação controle.

*O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros*



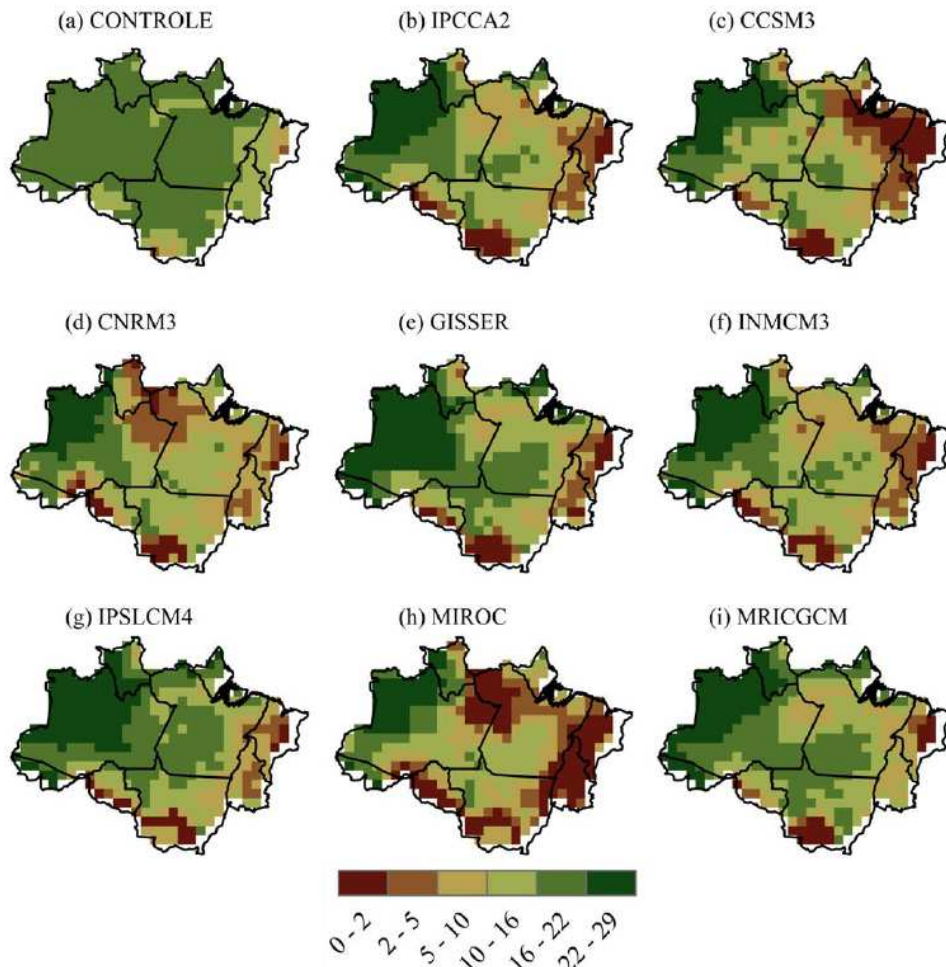
**Figura 2.** Distribuição espacial da biomassa viva acima do solo ( $\text{kgC.m}^{-2}$ ), considerando os cenários de clima futuro e o efeito fisiológico do  $\text{CO}_2$  para o ano de 2020: controle (a), IPCC2 (b), CCSM3 (c), CNRM3 (d), GISSER (e), INMCM3 (f), IPSLCM4 (g), MIROC (h) e MRICGCM (i).

Observa-se na Figura 3 que o incremento na AGB na região nordeste da Amazônia legal já notado no ano de 2020 ficou mais evidente. Por outro lado, para as demais regiões, as quedas observadas foram bem maiores que as observadas para o ano de 2020.



**Figura 3.** Anomalias de biomassa viva acima do solo ( $\text{kgC.m}^{-2}$ ), considerando os cenários de clima futuro e o efeito fisiológico do  $\text{CO}_2$  para o ano de 2050: IPCC2 (a), CCSM3 (b), CNRM3 (c), GISSER (d), INMCM3 (e), IPSLCM4 (f), MIROC (g) e MRICGCM (h).

O efeito fisiológico da elevação da concentração do CO<sub>2</sub> foi suficiente para mitigar os efeitos das condições climáticas futuras na estimativa de AGB na Amazônia Ocidental. Para as demais regiões, os resultados das simulações indicam quedas (Figura 4).



**Figura 4.** Distribuição espacial da biomassa viva acima do solo ( $\text{kgC.m}^{-2}$ ), considerando os cenários de clima futuro e o efeito fisiológico da elevação do CO<sub>2</sub> para o ano de 2050: controle (a), IPCC2 (b), CCSM3 (c), CNRM3 (d), GISSER (e), INMCM3 (f), IPSLCM4 (g), MIROC (h) e MRICGCM (i).

Anomalias médias de AGB variaram entre  $-1,0 \text{ kgC.m}^{-2}$ , que equivale a uma redução de  $-5,6\%$  para o cenário climático proposto pelo modelo IPSLCM4 e  $-7,2 \text{ kgC.m}^{-2}$ , que equivale a uma redução de  $-40,5\%$  para o cenário climático proposto pelo modelo MIROC. Para o cenário climático mais provável, o cenário de clima médio, a anomalia média de AGB foi de  $-3,3 \text{ kgC.m}^{-2}$ , equivalente a uma redução de  $-18,7\%$ , quando comparada à simulação controle (Tabela 3). Estes resultados indicam que o efeito fisiológico do CO<sub>2</sub> não compensou os efeitos das condições climáticas futuras na produtividade do ecossistema natural para o ano de 2050.

**Tabela 3.** Biomassa média para cenário controle ( $\text{kgC.m}^{-2}$ ), anomalias de biomassa viva acima do solo ( $\text{kgC.m}^{-2}$ ) e % de redução para cada cenário climático futuro para o ano de 2050

CENÁRIO	CONTROLE ( $\text{kgC.m}^{-2}$ )	ANOMALIAS ( $\text{kgC.m}^{-2}$ )	% de redução
IPCC A2		-3,3	-18,7
CCSM3		-4,6	-25,7
CNRM3		-5,3	-29,7
GISSER	17,9	-1,5	-8,5
INMCM3		-3,9	-22,0
IPSLCM4		-1,0	-5,6
MIROC		-7,2	-40,5
MRI-CGCM		-1,3	-7,0

## CONCLUSÕES

Nas simulações considerando as condições climáticas futuras, houve decréscimo significativo da biomassa do ecossistema natural em todos os modelos testados.

O efeito fisiológico do  $\text{CO}_2$  apenas foi suficiente para atenuar os efeitos negativos das condições climáticas futuras na região ocidental da Amazônia.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BETTS R. A.; COX, P. M.; HARRIS, C.; HUNTINGFORD, C.; JONES, C. D. The role of ecosystem atmosphere interactions in simulated Amazon forest dieback under global climate warming. **Theoretical and Applied Climatology**, v.78, p.157-175, 2004.

DAVIDSON, E. A.; ARAÚJO, A. C. de.; ARTAXO, P.; BALCH, J.K.; BROWN, F.; BUSTAMANTE, M. M. C.; COE, M. T.; DEFRIES, R.S.; KELLER, M.; LONGO, M.; MUNGER, W.; SCHROEDER, W.; SOARES-FILHO, B. S.; SOUZA JR, C, M.; WOFSY, S. C. The Amazon Basin in transition. **Nature**, v.481, p.321-328, 2012.

FOLEY, J. A.; ASNER, G. P.; COSTA, M. H.; COE, M. T.; DEFRIES, R.; GIBBS, H. K.; HOWARD, E. A.; OLSON, S.; PATZ, J.; RAMANKUTTY, N.; SNYDER, P. Amazonia revealed: forest degradation and loss of ecosystem goods and services in the Amazon Basin. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v.5, p.25-32, 2007.

GARSTANG, M.; MASSIE JR., H. L.; HALVERSON, J.; GRECO, S.; SCALA, J: Amazon coastal squall lines, part I: Structure and kinematics. **Mon. Wea. Rev.**, v.112, p.608-622, 1994.

HIRSCH, A. I.; LITTLE, W. S.; HOUGHTON, R. A.; SCOTT, N. A.; WHITE, J. D. The net carbon flux due to deforestation and forest re-growth in the Brazilian Amazon: analysis using a process-based model. **Global Change Biology**, v.10: p.908-924, 2004.

PCC. 2007. **Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L.





## XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

### *O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros*

Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 581-615.



KILLEEN, T. J.; SOLÓRZANO, L. A. 2007. Conservation strategies to mitigate impacts from climate change in Amazonia. **Phil. Trans. R. Soc. B**, doi:10.1098/rstb.2007.0018, 2008.

LANDSBERG, J. J.; WARING, R. H. A generalized model of forest productivity using simplified concepts of radiation use efficiency, carbon balance and partitioning. **Forest Ecology and Management**, v.95: p.209-228, 1997.

LITTLE, W. S. An Enhanced Version of CARLUC that Utilizes Moisture-Dependent Environmental Data, 2007.

LLOYD, J.; FARQUHAR, G. D. Effects of rising temperatures and [CO<sub>2</sub>] on the physiology of tropical forest trees. **Phil. Trans. R. Soc. B**. doi:10.1098/rstb.2007.0032, 2008.

MALHI, Y.; ROBERTS, J. T.; BETTS, R. A.; KILLEEN, T. J.; LI, W.; NOBRE, C. A. Climate Change, Deforestation, and the Fate of the Amazon. **Global Change Biology**, v.12, p. 1107-1138, 2008.

MALHI, Y.; WOOD, D.; BAKER, T. R.; WRIGHT, J. S.; PHILLIPS, O. L.; COCHRANE, T.; MEIR, P.; CHAVE, J.; ALMEIDA, S.; ARROYO, L.; HIGUCHI, N.; KILLEEN, T. J.; LAURANCE, S. G.; LAURANCE, W. F.; LEWIS, S.; MONTEAGUDO, A.; NEILL, D. da.; VARGAS, P. N.; PITMAN, N. C. A.; QUESADA, C. A.; SALOMÃO, R.; SILVA, J. N.; LEZAMA, A. M.; TERBORGH, J.; MARTINEZ, R. V.; VINCENT, B. The regional variation of aboveground live biomass in old-growth Amazonian forests. **Science**, v.319, p.169-172, 2006.

MALHI, Y.; GRACE, J. Tropical forest and atmospheric carbon dioxide. **Trends Ecol. Evol.**, v.15, p.332-337, 2000.

MONSI, M.; SAEKI, T. *Über den Lichtfaktor in den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduktion*. **Japanese Journal of Botany**, p. 22–52, 1953.

SALAZAR, L. F.; NOBRE, C. A.; OYAMA, M. D. Climate change consequences on the biome distribution in tropical South America. **Geophysical Research Letters**, v.34, L09708, 2007.

SHEFFIELD, J.; GOTETI, G.; WOOD, E. F. Development of a 50-Year High-Resolution Global Dataset of Meteorological Forcings for Land Surface Modeling. **Journal of Climate**, v. 19, p.3088-3111, 2006.

THORNTHWAITE, C. W.; MATTHEW, J. R. The water balance. Publications in Climatology. New Jersey, **Drexel Institute of Technology**, 104p, 1955.