

## Variabilidade sazonal e interanual do microclima em área de floresta no sudoeste da Amazônia

Seasonal and inter-annual variability of microclimate in forest area in southwestern Amazonia

**Nara Luisa Reis de Andrade<sup>1</sup>, Luciana Sanches<sup>2</sup>, Renata Gonçalves Aguiar<sup>3</sup>, João Gilberto de Souza Ribeiro<sup>4</sup>, Osvaldo Borges Pinto Junior<sup>5</sup>**

naraluisar@gmail.com; lsanches@hotmail.com; rgaguiar@gmail.com; jotagil@gmail.com; osvaldo.borges@gmail.com

<sup>1</sup>Doutora em Física Ambiental, Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Rondônia, Ji-Paraná, Brasil

<sup>2</sup>Doutora em Engenharia Ambiental, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, Brasil

<sup>3</sup>Doutora em Física Ambiental, Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Rondônia, Ji-Paraná, Brasil

<sup>4</sup>Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Rondônia, Ji-Paraná, Brasil

<sup>5</sup>Doutor em Agricultura Tropical, Departamento de Física, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, Brasil

### Resumo

*A Amazônia é um ecossistema de reconhecida importância global, devido à sua elevada biodiversidade e a magnitude das trocas de massa e energia por ela realizada. Considerando que as alterações no uso e ocupação do solo na região podem ocasionar mudanças nas condições micrometeorológicas locais, buscou-se com este estudo analisar os aspectos sazonais e variações interanuais do microclima em um sítio de estudos localizado em área de floresta tropical, no sudoeste da Amazônia. Para tanto, foram utilizados dados de saldo de radiação, temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento coletados em uma torre micrometeorológica pertencente ao Programa LBA, localizada na Reserva Biológica do Jaru, no período de 2004 a 2010. A existência de padrões sazonais bem definidos foi verificada, com variações entre os períodos úmido, úmido-seco, seco e seco-úmido, para todas as variáveis em questão. Ainda, por meio de análises das variações interanuais, foram observados indícios de incremento do aquecimento e diminuição da umidade na localidade. Essa observação, embora pontual, merece especial atenção, visto que modificações no microclima na região Amazônica podem apresentar consequências ainda desconhecidas.*

**Palavras-chave:** Floresta Amazônica, radiação solar, temperatura, umidade, alterações antrópicas.

### Abstract

*The Amazon is a recognized global ecosystem, due to its high biodiversity and the magnitude of the mass and energy exchanges performed. In this study it sought to analyze the seasonal and interannual variations of microclimate in a site of tropical forest in southwestern Amazon. For this purpose, net radiation data were used, air temperature, relative humidity and wind speed collected in a micrometeorological tower belonging to the LBA, located in Jaru Biological Reserve, from 2004 to 2010. The results showed that existence of well-defined seasonal patterns was verified, with variations between wet, wet-dry, dry, dry-humid periods for all variables in question. Yet, through analysis of the interannual variations were observed warming of the increment signs and decreased moisture in the locality. This observation, although patchy, deserves special attention, since changes in the microclimate in the Amazon region may have yet unknown consequences.*

**Keywords:** Amazon rainforest, solar radiation, temperature, humidity, anthropogenic changes.

## 1 Introdução

A atmosfera da Terra está em permanente interação com a biosfera terrestre, formando um sistema acoplado. Essa interação desempenha um papel fundamental no sistema climático e na biogeoquímica e ciclos hidrológicos, através da troca de energia e de massa (por exemplo, água e carbono), entre a vegetação e a camada limite atmosférica (von RANDOW et al., 2013).

Diante das incertezas sobre as mudanças climáticas globais, os serviços ambientais prestados por interações florestas-atmosfera, se tornam ainda mais em voga, tendo em vista o potencial de atenuar ou ampliar as alterações climáticas antropogênicas (BONAN, 2008).

Deste modo, a Amazônia brasileira alcança destaque internacional, devido à sua elevada biodiversidade e a magnitude das trocas de massa e energia por ela realizada. Outros fatores também a colocam em patamar de atenção sobre sua conservação e manutenção, destaca-se o fato de atuar como condutora da circulação atmosférica global e do ciclo hidrológico (FISHER et al., 2009).

Além disso, as atenções direcionadas para a referida região é justificada pela intensificação, cada vez maior, dos processos de mudança no uso e ocupação do solo, com substituição da vegetação nativa por pastagem ou monocultura. Esses aspectos podem vir a ter efeitos ainda não totalmente conhecidos sobre o clima, a hidrologia e os ciclos biogeoquímicos, seja em escala local, regional ou global.

Estudos recentes reportados no IPCC (2014) e no Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC, 2014) destacam que é muito provável que a temperatura aumente em toda a América do Sul, com o maior aquecimento projetado para o sul da Amazônia. São também projetados aumento da frequência de eventos extremos, podendo ocorrer períodos de intensa seca na região da Amazônia, como a de 2005, aumentando dos atuais 5% (uma forte estiagem a cada 20 anos) para 50% em 2030 e até 90% em 2100 (COX et al., 2008). Outra consequência dessa mudança de clima pode ser um alongamento da estação seca, podendo

afetar a hidrologia e os ecossistemas da região (MARENGO, 2014).

Nesse sentido, o entendimento do comportamento das variáveis microclimáticas, bem como estudos de possíveis variações ao longo do tempo, pode contribuir para a compreensão das dinâmicas interações entre a atmosfera, a biosfera, a hidrosfera, a criosfera e a geosfera, em um planeta agindo como um sistema complexo, em permanente mudança (ARTAXO, 2014).

Por conseguinte, o presente estudo objetivou analisar aspectos sazonais e variações interanuais do microclima de um sítio de monitoramento ainda florestado situado no sudoeste da Amazônia – a Reserva Biológica do Jaru (REBIO Jaru), utilizando dados de saldo de radiação, temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento, dos anos de 2004 a 2010.

## 2 Material e métodos

### 2.1 Apresentação e localização da área em estudo

O presente estudo teve como sítio experimental a REBIO Jaru, uma unidade de conservação de proteção integral, sob responsabilidade do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), localizada a leste do Estado de Rondônia, no município de Ji-Paraná, entre as latitudes 09°19'52" e 10°11'46"S e longitudes 61°35'40" e 61°52'48"O. Atualmente a área possui 353.160 hectares.

A classificação da vegetação é floresta ombrófila aberta (ROTTENBERGER et al., 2004), sendo comumente denominada também de floresta tropical sazonalmente seca ou semidecidual (ROTTENBERGER et al., 2004; ROCHA et al., 2009; COSTA et al., 2010).

A reserva conta com uma torre meteorológica cujas coordenadas são 10°11'11,4"S e 61°52'29,9"O, com altura aproximada de 61,5 m, pertencente à rede de torres do Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (Programa LBA), em funcionamento nas atuais coordenadas desde janeiro de 2004. A

torre dista aproximadamente 1240 m da margem do rio Ji-Paraná, rio que nomeia a bacia hidrográfica em que a área em estudo está inserida. Nesta área a altitude é 120 m.

## 2.2 Instrumentação e medidas das variáveis microclimáticas

Na torre meteorológica estão instalados sensores de medidas de saldo de radiação (Rn), temperatura do ar (T), umidade relativa do ar (UR) e velocidade do vento (u), conectados a um sistema de aquisição de dados (Datalogger CR23X, Campbell Scientific Instrument, Utah, USA) programado para fazer uma leitura das medidas a cada 30 segundos e depois armazenar uma média a cada 30 minutos.

A descrição dos instrumentos utilizados para medição de cada variável encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1: Descrição dos instrumentos e alturas dos sensores instalados para medição do saldo de radiação (Rn), temperatura do ar (T), umidade relativa do ar (UR) e velocidade do vento (u) na torre da REBIO Jaru

Variáveis	Instrumentos	Altura (m)
Rn	Conjunto Saldo-radiômetro Kipp & Zonen (CG1), Delft, Holanda	58,0
T	Termohigrômetro Vaisala (HMP35A), Helsinki, Finlândia	61,5
UR	Termohigrômetro Vaisala (HMP35A), Helsinki, Finlândia	61,5
u	Anemômetro Vector (A100R), North Wales, Reino Unido	62,1

Os dados utilizados no presente estudo compreendem o período de 2004 a 2010.

## 2.3 Estatística e análise dos dados

Na análise dos dados micrometeorológicos, foi empregada

estatística descritiva, incluindo média ( $\pm$ DP) e variação em torno da média, para o conjunto de dados agrupado (i) por estação, para análises de sazonalidade e (ii) por ano, para análises das variações interanuais.

Para análise de variância entre as médias foi utilizado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis a um nível de significância de 5%, para todo o conjunto de dados, a fim de verificar diferenças significativas entre as estações do ano.

## 3 Resultados e discussão

Os comportamentos inter e intra-anual (análise dos períodos sazonais), bem como as variações médias mensais da área em estudo, caracterizada por seu clima tropical chuvoso, estão descritos nos tópicos a seguir, considerando as condições micrometeorológicas de Rn, T, UR e u.

### 3.1. Variações sazonais

Os valores médios das variáveis micrometeorológicas referentes aos períodos úmido (janeiro a março) e seco (julho a setembro) e períodos de transição úmido-seco (abril a junho) e seco-úmido (outubro a dezembro) estão dispostos na Tabela 2.

O Rn apresentou um padrão de comportamento com variação negativa em torno da média nos períodos úmido e úmido-seco, e com variação positiva nos demais períodos, indicando maior disponibilidade de energia no ecossistema, alcançando +4,2% de Rn na seca-úmida.

A T refletiu o padrão de comportamento de Rn, em que, pela menor disponibilidade de energia, as menores temperaturas ocorreram durante os períodos úmido e úmido-seco, em contrapartida, o aumento na energia disponível refletiu diretamente no aumento de T nos demais períodos, podendo chegar a +6% durante o período seco-úmido, o que representou uma diferença intra-anual, em média, de até 1,7 °C. Esses resultados concordam com estudos anteriores realizados com dados da REBIO Jaru, nos quais Gomes (2011), estudando o período de 1999 a 2010

obteve valores médios de  $24,7 \pm 0,33$  °C (estação chuvosa) e de  $26,2 \pm 0,46$  °C (estação seca), com diferença térmica de 1,4 °C, e Costa et al. (2010) verificaram que a temperatura média anual foi 22,9 °C e a média durante as estações úmida e seca foram 20,9 °C e 24,9 °C, respectivamente.

Esse comportamento pode ser explicado pela menor taxa de cobertura de nuvens na estação seca, que permite uma maior incidência de radiação solar durante o dia, aumentando a energia disponível no sistema.

Tabela 2: Médias sazonais ( $\pm$ DP) e variação em torno da média anual das variáveis saldo de radiação (Rn), temperatura do ar (T), umidade relativa do ar (UR) e velocidade do vento (u), de 2004 a 2010, sítio REBIO Jaru.

Período	Rn (W m <sup>-2</sup> )		UR (%)		T (°C)		u (m.s <sup>-1</sup> )	
	Média ( $\pm$ DP)	Variação (%)	Média ( $\pm$ DP)	Variação (%)	Média ( $\pm$ DP)	Variação (%)	Média ( $\pm$ DP)	Variação (%)
Úmido	125,1 $\pm$ 10,5	-2,4	88,1 $\pm$ 10,5	+10,8	24,2 $\pm$ 1,3	-4,0 <sup>a,b</sup>	1,62 $\pm$ 0,1	-1,9
Úmido-seco	123,4 $\pm$ 13,9	-3,6	82,3 $\pm$ 3,9	+3,5	23,9 $\pm$ 1,6	-5,4 <sup>c</sup>	1,60 $\pm$ 0,2	-3,1 <sup>a</sup>
Seco	134,7 $\pm$ 9,0	+3,6	67,6 $\pm$ 4,7	-15,0	25,7 $\pm$ 0,6	+3,4 <sup>a,d</sup>	1,75 $\pm$ 0,2	+5,6 <sup>a</sup>
Seco-úmido	138,1 $\pm$ 11,3	+4,2	81,3 $\pm$ 2,6	+2,2	25,4 $\pm$ 2,0	+6,0 <sup>b,c,d</sup>	1,64 $\pm$ 0,2	-0,6

\*Obs: os índices a, b, c, d indicam conjuntos de dados que não apresentaram diferença significativa de variância ( $\alpha \leq 0,05$ ) de acordo com o teste de Kruskal – Wallis.

A UR apresentou variação negativa com relação à média apenas no período seco. No entanto, foi o componente que apresentou maiores modificações sazonais, com variação positiva de +10% no período úmido, e -15% na seca, chegando a valores médios nesse período de  $67,6 \pm 4,7\%$ . Evidenciando a suscetibilidade do ecossistema às perdas hídricas em períodos de estiagem, de modo que seu comportamento varia de forma diretamente proporcional à precipitação.

Os valores de u diferiram, em termos de valor absoluto, em  $0,1$  m s<sup>-1</sup>, representando, em média, semelhança comportamental dessa variável entre as diferentes épocas do ano.

Para comprovar a hipótese de diferença de comportamento entre os períodos do ano, foi realizado o teste de Kruskal-Wallis para detectar diferença entre as médias, por período. De acordo com os resultados apresentados na Tabela 1, a um nível de significância de 5%, existe diferença considerável entre as médias dos períodos sazonais para a maioria dos dados micrometeorológicos.

Neste estudo foi possível identificar variações ao longo do ano nas variáveis, o que corrobora a existência de padrões intra- anuais distintos no comportamento do microclima

local, justificando a subdivisão do ano em períodos sazonais.

### 3.2 Variações interanuais

Observou-se que, além das variações intra- anuais decorrentes do comportamento sazonal, houve também variações ao longo dos anos (Figura 1), podendo essas serem ocasionadas por fenômenos climáticos de grande escala, como as secas que ocorreram em 2005 e 2010 (MARENGO et al., 2008; COELHO et al., 2012). Tais eventos foram documentados e associados por diversos autores com: (i) a ocorrência de eventos *El Niño*, (ii) aquecimento anormal da superfície do Atlântico Norte durante o inverno-primavera austral – correspondente aos períodos seco e seco-úmido - e (iii) a ambos, sendo a intensificação dos períodos de seca no sudoeste da Amazônia mais fortemente associado ao fator ii (MARENGO et al., 2008; COELHO et al., 2012; SAATCHI et al., 2012). Marengo et al. (2011) complementam que a seca de 2010 na Amazônia teve início durante o verão austral – correspondente ao período úmido - durante um evento de *El Niño*, e depois foi intensificado como consequência do aquecimento no Atlântico Tropical Norte.

Os valores de  $R_n$  foram maiores nos períodos seco e seco-úmido, em 2005 e 2010, refletindo em queda da UR e elevação da temperatura, principalmente durante o período seco. A resposta dessas duas variáveis à seca de 2005 pode ter influenciado no ano subsequente, em que as temperaturas continuaram mais elevadas e a umidade, mais baixa, com aparente tendência à recuperação das mesmas apenas no ano de 2007. Isso vai ao

encontro de resultados do estudo realizado por Saatchi et al. (2012), em que os autores relatam que os efeitos das secas severas na Amazônia podem persistir por anos, devido ao declínio drástico da umidade do solo. Uma vez que, em condições naturais, a água armazenada no solo garante a disponibilidade hídrica ao ecossistema mesmo nos períodos em que há déficit de precipitação (von RANDOW et al., 2004; ANDRADE et al., 2009).

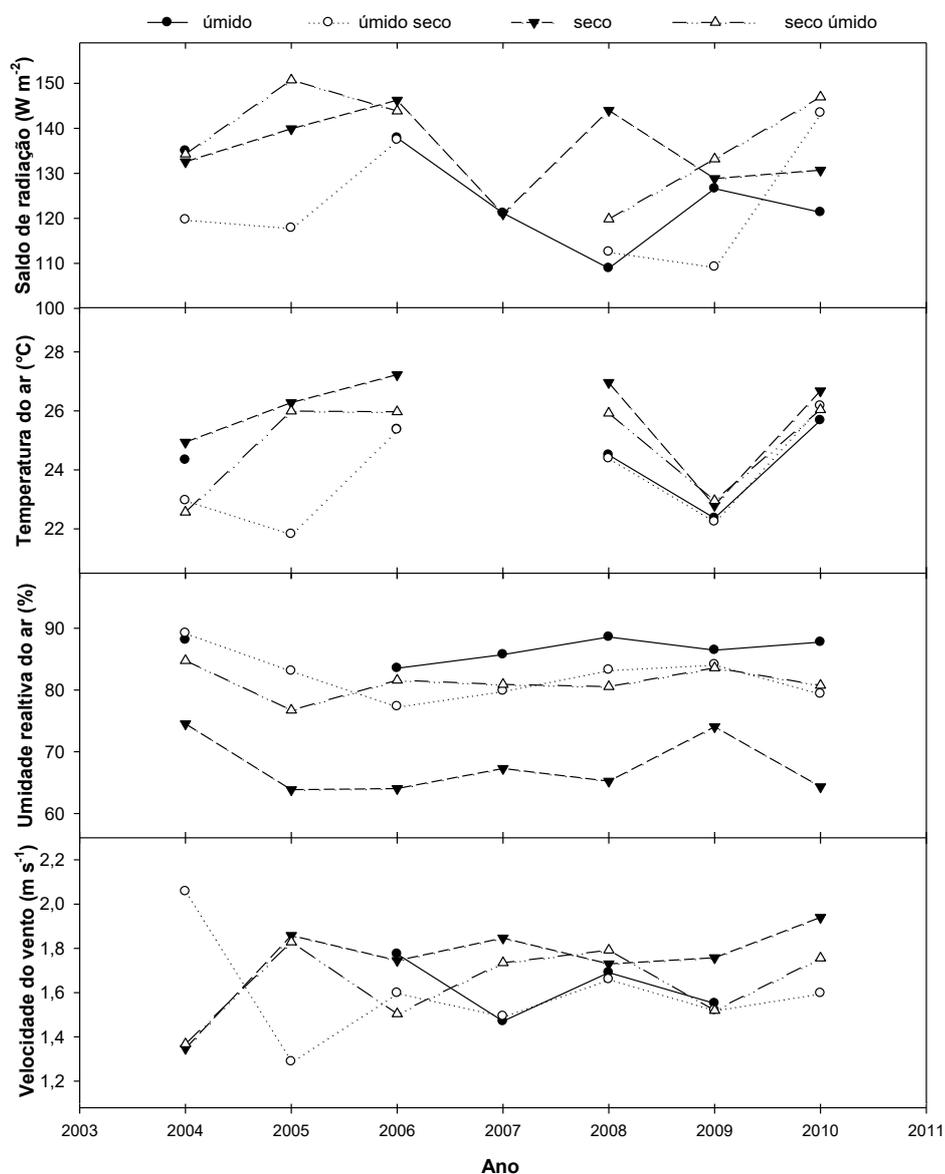


Figura 1: Média anual do saldo de radiação, temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento nos períodos úmido, úmido-seco, seco e seco-úmido, anos 2004 a 2010, sítio REBIO Jaru.

Na Figura 2, as variações interanuais de  $R_n$ ,  $T$ , UR e  $u$ , estão representadas por meio do ciclo diário mensal, por ano de estudo.

Embora as variações de  $R_n$  e  $T$  sejam discretas, em média, entre os períodos, ao

analisar o dia médio mensal, é possível identificar uma expressiva amplitude dos dados ao longo dos dias, além de considerável diferença na amplitude diária dos dados ao longo do ano.

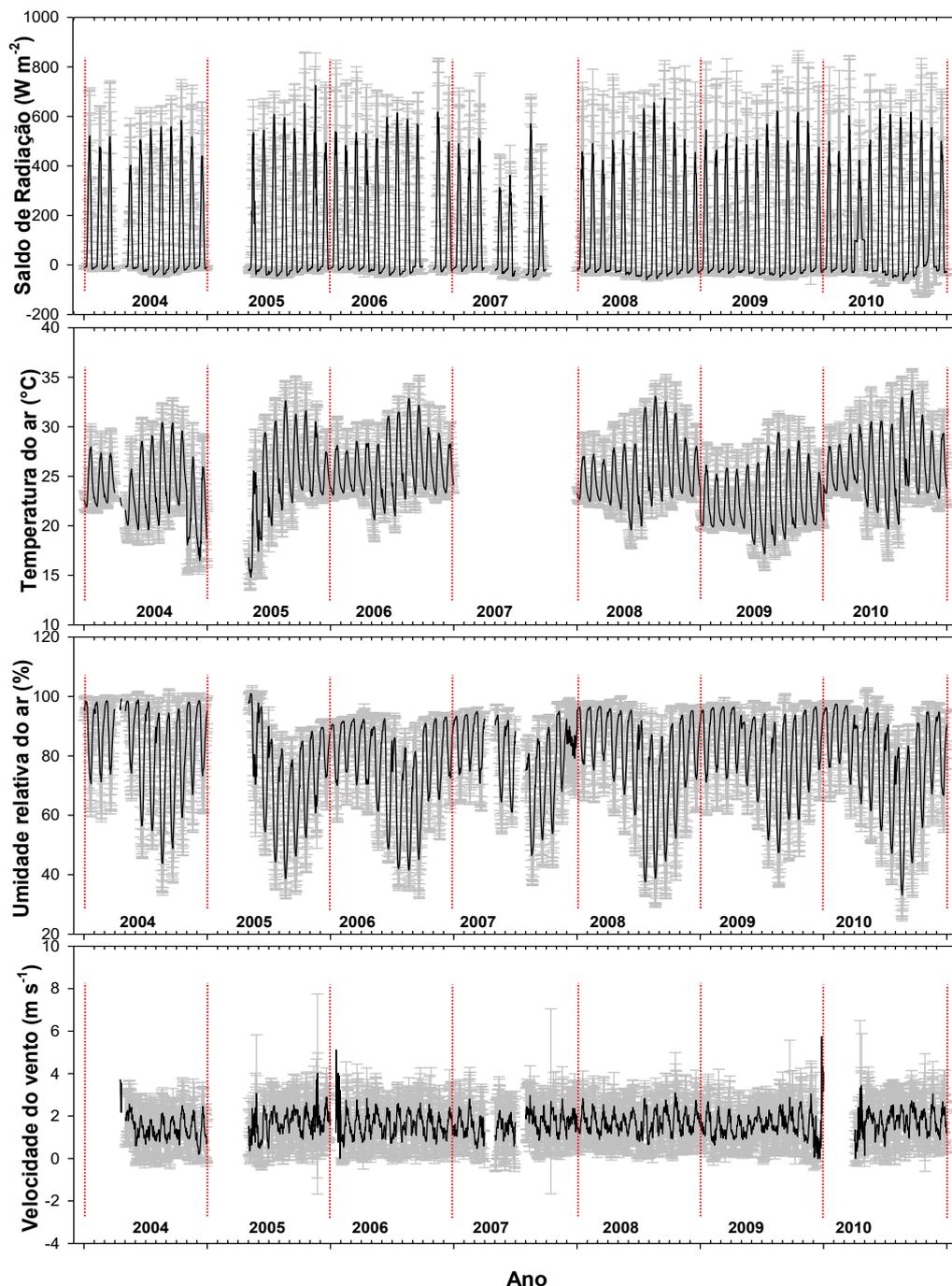


Figura 2. Ciclo diário mensal do saldo de radiação, temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento, anos 2004 a 2010, sítio REBIO Jarú. As linhas tracejadas em vermelho delimitam as mudanças de ano, e as barras em cinza, o desvio padrão.

As maiores amplitudes de  $R_n$ ,  $T$  e  $UR$  ocorreram entre os períodos seco e seco-úmido, bem como os maiores valores de  $R_n$  e  $T$ , e menores de  $UR$ . Os valores de  $R_n$  alcançaram máximos de  $724,8 \text{ W m}^{-2}$  (13h) e mínimos de  $-22,5 \text{ W m}^{-2}$  (20h), em novembro de 2005, para  $T$ , máximo de  $33,67 \text{ }^\circ\text{C}$  (15h 30min.) e mínimo de  $24,02 \text{ }^\circ\text{C}$  (6h) em setembro de 2010, e para  $UR$ , mínimo de  $33,2\%$  e máximo de  $82,7\%$  (7h 30min.), no mês de agosto de 2010.

As maiores amplitudes do dia médio de  $u$  foram verificadas durante os períodos úmido e seco-úmido, em dezembro e janeiro de 2006, e novembro e dezembro de 2009.

Nessa análise, são evidenciados indícios de alterações no microclima da REBIO Jaru como resposta às secas extremas ocorridas nos anos de 2005 e 2010, embora existam comportamentos no período que não podem ser completamente explicados apenas por esses fenômenos.

Da Figura 2, foram extraídas as equações que representam a variação de cada conjunto de dados, juntamente com a variação (aumento ou queda), ao longo do tempo ( $x$ ), referente aos dados dos dias médios mensais do período de 2004 a 2010.

De um modo geral, todas as variáveis apresentaram alguma modificação. Dentre estas,  $T$  e  $u$  apresentaram alterações positivas, com incremento de  $0,40 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $0,21 \text{ m s}^{-1}$ , na mesma ordem de apresentação das variáveis, enquanto o conjunto  $UR$  e  $R_n$  apresentaram um decréscimo, de  $-1,21\%$  e  $-5,24 \text{ W m}^{-2}$ , respectivamente.

Nesse sentido, o incremento das temperaturas médias na região, bem como as inter-relações com os demais fatores, aponta para a necessidade de estudos mais detalhados, visto que para aumentos da temperatura global média que ultrapassem  $1,5$  a  $2,5 \text{ }^\circ\text{C}$  projeta-se que haja grandes mudanças na estrutura e na função do ecossistema, e nas interações ecológicas e distribuições geográficas das espécies (IPCC, 2014).

#### 4 Considerações finais

A análise do microclima da REBIO Jaru permitiu identificar a existência de padrões sazonais bem definidos, com variações entre os períodos úmido, úmido-seco, seco e seco-úmido, para as variáveis  $R_n$ ,  $T$ ,  $UR$  e  $u$ , o que indica a importância de considerar a sazonalidade do

local ao realizar estudos ou inferências sobre o ecossistema em questão.

A série de sete anos de medidas (2004 a 2010) permitiu também a identificação de variações interanuais nas variáveis do microclima, com incremento do aquecimento e diminuição da umidade na localidade.

Vale ressaltar que as variações identificadas no presente trabalho representam comportamento em pequenas escalas espacial e temporal. No entanto, esforços nesse sentido são importantes, visto que, mudanças climáticas poderão afetar todos os ecossistemas terrestres, com consequências predominantemente negativas para a biodiversidade e serviços do ecossistema, como por exemplo, a oferta de água e alimento.

#### Agradecimentos

Ao Programa LBA, pelo fornecimento dos dados, ao Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental (PGFA/UFMT), pelo apoio científico, e à CAPES, pela concessão de bolsa.

#### Referências

- Andrade, N. L. R., Aguiar, R. G., Sanches, L., Alves, E. C. R. F., Nogueira, J. S. (2009). Partição do saldo de radiação em áreas amazônica e floresta de transição Amazônia-cerrado. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 24, 346-355.
- Artaxo, P. (2014). Apresentação – Mudanças Climáticas e o Brasil. *Dossiê Clima, Revista USP*, 103, 8-12.
- Bonan, G. B. (2008). Forests and Climate Change: Forcings, Feedbacks, and the Climate Benefits of Forests. *Science* 320. [DOI: 10.1126/science.1155121].
- Coelho, C. A. S., Cavalcanti, I. A. F., Costa, S. M. S., Freitas Saulo R., Ito, E. R., Luz, G., et al. (2012). Climate diagnostics of three major drought events in the Amazon and illustrations of their seasonal precipitation predictions. *Meteorol. Appl.* 19, 237-255.
- Costa, M. H., Biajoli, M. C., Sanches, L., Malhado, A. C. M., Huttyra, L. R., Rocha, H. R., et al. (2010). Atmospheric versus vegetation controls of Amazonian tropical rain forest

- evapotranspiration: Are the wet and seasonally dry rain forests any different? *Journal of Geophysical Research*, 115, 1-9.
- Cox, P. M., Harris, P. P., Huntingford, C., Betts, R. A., Collins, M., Jones, C. D., et al. (2008). Increasing risk of Amazonian drought due to decreasing aerosol pollution. *Nature*, 453, 212-215. doi:10.1038/nature06960.
- Fisher, J. B., Malhi, Y., de Araújo, A. C., Bonal, D., Gamo, M., Goulden, M. L., et al. (2009). The land-atmosphere water flux in the tropics. *Global Change Biology*, 15, 2694–2714.
- Gomes, J. B. (2011). Conversão de florestas tropicais em sistemas pecuários na Amazônia: quais são as implicações no microclima da região? Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Ambiental, Fundação Universidade Federal de Rondônia, Ji-Paraná. 62p.
- IPCC (2014): Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Barros, V. R., C. B. Field, D. J. Dokken, M. D. Mastrandrea, K. J. Mach, T. E., Bilir, M., Chatterjee, K. L., Ebi, Y. O. Estrada, R. C., Genova, B., Girma, E. S., Kissel, A. N., Levy, S., MacCracken, P. R., Mastrandrea, L. L., White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 688.
- Marengo, J. A., Tomasella, J., Alves, L. M., Soares, W. R., Rodriguez, D. A. (2011). The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. *Geophys. Res. Lett.*, 38, L12703, doi:10.1029/2011GL047436.
- Marengo, J. A., Nobre, C. A., Tomasella, J., Oyama, M. D., Oliveira, G. S., Oliveira, R., et al. (2008). The drought of Amazonia in 2005. *Journal of Climate*, 21, 495-516.
- Marengo, J. A. (2014). O Futuro Clima do Brasil. Dossiê Clima. *Revista USP*, 103, 25-32.
- Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. (2014). Impactos, Vulnerabilidades e Adaptação às Mudanças Climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 2 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas. Assad, E. D., Magalhães, A. R. (eds.) Rio de Janeiro, Coppe/Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Rocha, H. R., Manzi, A. O., Cabral, O. M., Miller, S. D., Goulden, M. L.; Saleska, S. R., et al. (2009). Patterns of water and heat flux across a biome gradient from tropical forest to savanna in Brazil. *Journal of Geophysical Research*, 114, 1-8.
- Rottenberger, S., Kuhn, U., Wolf, A., Schebeske, G., Oliva, S. T., Tavares, T. M., et al. (2004). Exchange of short-chain aldehydes between Amazonian vegetation and the atmosphere at a remote forest site in Brazil. *Ecological Applications*, 14 (4), 247-262.
- Saatchi, S., Asefi-Najafabady, S., Malhi, Y., Aragão, L. E. O. C., Anderson, L. O., Myneni, R. B., et al. (2012). Persistent effects of a severe drought on Amazonian forest canopy. *PNAS*. [doi:10.1073/pnas.1204651110].
- von Randow, C., Manzi, A. O., Kruijt, B., Oliveira, P. J., Zanchi, F. B., Silva, R. L., et al. (2004). Comparative measurements and seasonal variations in energy and carbon exchange over forest and pasture in South West Amazonia. *Theoretical and Applied Climatology*, 78 (1), 5-26.
- von Randow, C., Zeri, M., Restrepo-Coupe N., Muza, M. N., Gonçalves, L. G. G., Costa, M. H., et al. (2013). Inter-annual variability of carbon and water fluxes in Amazonian forest, Cerrado and pasture sites, as simulated by terrestrial biosphere models. *Agricultural and Forest Meteorology*, 182–183, 145-155, ISSN 0168-1923, <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2013.05.015>.