

Cenários Climáticos da Radiação Solar Global Baseados no Modelo Regional HadRM3 para o Estado do Acre

Rafael Coll Delgado¹, José Francisco de Oliveira Junior¹,
Givanildo Gois¹, Gustavo Bastos Lyra¹

¹Departamento de Ciências Ambientais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ, Seropédica/RJ, Brasil

RESUMO

Foram propostos dois cenários futuros para a Amazônia Ocidental, utilizando-se a saída do Modelo de circulação regional HadRM3 para radiação solar global (R_g), para o Estado do Acre. Os cenários A2 (pessimista) e B2 (otimista) são baseados no relatório do IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*). Foram definidas duas estações distintas para ambos os cenários: a estação seca, de abril a setembro, e a estação chuvosa, de outubro a março. O período de 1961 a 1990, “baselines”, e para os cenários A2 e B2, a simulação ocorreu entre 2070 e 2100. A conversão da grade pontual do modelo HadRM3 foi baseada no método de Krigagem Ordinária. Os menores valores de R_g abrangem a parte oeste do Estado do Acre, na estação seca, em ambos os cenários. Os valores intermediários de R_g são na direção norte-sul, seguidos dos maiores valores de R_g , que são na porção leste do Estado; houve um aumento significativo de R_g na estação chuvosa no período de 2080 a 2090, em ambos os cenários adotados no estudo. Com base na estatística descritiva e exploratória dos cenários otimista, pessimista e “baseline” mostrou-se que a forçante radiativa (positivo) tende a aquecer a superfície continental e, ao contrário, situação negativa tende a esfriar, sendo identificado tal quadro na formação do gradiente entre as direções leste-oeste do Estado do Acre, para ambas as estações no período de estudo.

Palavras-chave: Amazônia Ocidental, mudanças climáticas, projeções futuras, simulação numérica.

Climate Scenarios of Global Solar Radiation Based on the HadRM3 Regional Climate Model for the State of Acre, Brazil

ABSTRACT

Two future climate scenarios have been proposed for the the Western Amazon region - state of Acre, Brazil - using the HadRM3 regional climate model for global solar radiation (R_g). The two climate scenarios, A2 (pessimistic) and B2 (optimistic), are based on findings of the IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) report. Two distinct seasons were defined for both climate scenarios (dry and rainy): the dry season (from April to September) and the rainy season (from October to March). We chose the time period between 1961 and 1990 as baseline and carried out future simulation from 2070 to 2100 for the A2 and B2 settings. The grid point conversion of the HadRM3 model was based on the Ordinary Kriging method. The smallest values of R_g are found for the western part of Acre state during the dry season in both scenarios. Intermediate values of R_g are observed for the north to south direction, followed by the highest values of R_g for the east side of the state, with significant increase of R_g during the rainy season between 2080 and 2090 for both settings adopted in this study. Based on

descriptive and exploratory statistics for the optimistic, pessimistic, and baseline settings, we conclude that the positive radiative forcing tends to warm the land surface, while the negative radiative forcing tends to cool it. This was observed in the formation of the gradient in the east to west direction of the state of Acre in both seasons during the study period.

Keywords: Western Amazonia, climate change, future projections, numerical simulation.

1. INTRODUÇÃO

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças do Clima (IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*) foi criado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) e pela *United Nations Environment Programme* (UNEP), em 1988. O IPCC objetiva estudar e divulgar amplamente as informações técnicas e socioeconômicas, e os impactos relevantes aos riscos à humanidade, assim como criar mecanismos para a adaptação e a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas globais (Agrawala, 1997).

As previsões de mudanças climáticas, entre as quais o aquecimento global, tema debatido atualmente em todo o mundo, fomentam discussões no âmbito científico e da governança sobre o Planeta Terra. O IPCC trabalha com diferentes cenários de emissão de CO₂, sendo os principais: A2 (alta emissão de CO₂) e B2 (baixa emissão de CO₂). As projeções globais do clima mostram um cenário pessimista, que indicam aumento médio da temperatura do ar de 1,4°C a 4,0°C, até o final deste século. Esse aumento é decorrência das concentrações dos Gases do Efeito Estufa - GEE (dióxido de carbono - CO₂, óxido nítrico - NO_x, vapor d'água - H₂O, metano - CH₄) (IPCC, 2007a, b). Assim, são essenciais os estudos observacionais e numéricos, baseados em dados de entrada, condições de contorno e parametrizações, que mostram o efeito dessas alterações no clima mundial, em particular na Amazônia Ocidental.

O clima na Região Amazônica tem sido afetado por episódios climáticos extremos, como, por exemplo, a seca de 2005, atribuída ao episódio de El Niño (Zeng et al., 2008; Cox et al., 2008; Marengo et al., 2009) e as inundações ocorridas em 2009 (Marengo, 2010). A Bacia Amazônica é um dos principais componentes do sistema climático global, devido à grande quantidade de vapor d'água transferido da floresta tropical para a atmosfera,

sendo um processo determinante na manutenção da célula tropical de circulação regional e global, a célula de Hadley (Nobre et al., 2009).

Vários estudos de modelagem numérica têm discutido que a extensão da floresta tropical da Bacia Amazônica pode ser fortemente afetada pelas mudanças climáticas induzidas pelas altas taxas de emissões dos GEE's (Cook & Vizy, 2008; D'Almeida et al., 2007).

Os cenários climáticos são obtidos a partir de simulações dos modelos climáticos globais, usados como ferramentas para projeções de futuras mudanças do clima, como consequência de cenários utilizando-se as principais forçantes climáticas (GEE's e aerossóis). Sabe-se que existe uma incerteza do futuro cenário climático do Planeta. A formulação de políticas de adaptação em resposta às mudanças do clima tem mostrado que o nível de detalhamento fornecido pelas parametrizações ainda não está consolidado, ainda que o Modelo Global de Circulação da Atmosfera (MCGA) forneça simulações da circulação atmosférica em escala global (Camargo et al., 2001; Cavalcanti et al., 2002; Marengo et al., 2003). Alguns modelos melhoraram suas parametrizações, como, por exemplos: *Atmosphere-Ocean General Circulation Models* (AOGCMs); *National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research* (NCEP-NCAR); *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5* (CMIP5) (Flato et al., 2013); o *Hadley Centre Coupled Model, version 3* (HadCM3) (Ambrizzi et al., 2007), e a versão atual do *Hadley Centre Regional Climate Model, version 3* (HadRM3), utilizado na Região Amazônica (Justino et al., 2013).

Para o cenário climático de referência, utiliza-se a Climatologia, e para o cenário futuro, projeta-se o comportamento e as tendências do clima utilizando-se os MCGA's, Modelos de Circulação Global (MCG's), ou são utilizadas condições hipotéticas. As projeções com os MCGA's, MCG's, são feitas

pelo acoplamento da atmosfera com os oceanos, forçados com a evolução das concentrações de GEE's medidas no século XX e projetadas para o futuro, de acordo com a descrição do Relatório Especial sobre Cenários de Emissões. Este Relatório, publicado em 2000, mostrou estudos de mudanças climáticas, descrevendo uma visão possível do desenvolvimento futuro em todo o Planeta, com alusão especial à taxa de emissão dos GEE's (IPCC & TGICA, 2007).

Baseado no exposto, este trabalho tem por objetivo analisar no âmbito espaço-temporal os cenários futuros B2 e A2 para Amazônia Ocidental, utilizando-se a saída do modelo de circulação regional HadRM3 para radiação solar global no Estado do Acre, no período de 2070 a 2100.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização da área de estudo

A classificação de Köppen divide o Estado do Acre em dois tipos principais de clima: tropical úmido e tropical de monções. O clima tropical úmido ("Af") é predominante na região do Vale do Juruá, onde se encontra instalada a Estação Meteorológica Convencional (EMC), no município de Cruzeiro do Sul. Esse subclima é caracterizado pela intensa precipitação pluvial, com acumulado anual superior a 2.000 mm. Independentemente do mês, a precipitação mensal é superior a 60 mm. Outra característica é a ausência de período seco bem definido. Este tipo de clima é típico da região próxima à linha do Equador (IBGE, 1997; Duarte, 2005).

O tropical de monções ("Am") é predominante no restante do Estado e é subdividido em "Am1" e "Am2". Apresenta características similares ao "Af" em relação às quantidades acumuladas de precipitação pluvial, porém apresenta período de seca de 1 a 3 meses, com precipitação mensal inferior a 60 mm de chuva (Duarte, 2005).

2.2. Modelo HadRM3

A versão atual do modelo regional do Hadley Centre é o HadRM3, que é baseado na versão mais recente do HadCM3. Possui resolução horizontal de 50 km, com 19 níveis na vertical (da superfície até

30 km na estratosfera) e quatro níveis no perfil do solo. O HadRM3 usa a mesma formulação climática utilizada no modelo HadCM3, o que permite que o modelo regional forneça projeções climáticas consistentes com o modelo global (PRECIS, 2002; Ambrizzi et al., 2007). O modelo HadRM3 tem sido utilizado em várias regiões do mundo, como, por exemplos, na Europa e na Ásia (China e Índia).

Ambrizzi et al. (2007) integraram o HadCM3 no cenário do clima presente a fim de avaliar sua capacidade de representá-lo e a sua variabilidade para a América do Sul (AS), especialmente para o Brasil. O HadCM3 obteve um desempenho satisfatório para o clima presente e, assim, foi utilizado para os cálculos de projeções de cenários climáticos futuros regionalizados. Os cenários a serem utilizados são: B2 "otimista" e A2 "pessimista", para todo o Estado do Acre (Figura 1).

O cenário A2, "pessimista", descreve um Planeta futuro heterogêneo, onde a regionalização é dominante. Existiria um fortalecimento de identidades culturais regionais, com ênfase em valores da família e tradições locais. Outras características importantes referem-se a um crescimento populacional alto e menos preocupação em relação ao desenvolvimento econômico rápido (IPCC & TGICA, 2007).

O cenário B2, "otimista", descreve um Planeta no qual a ênfase está em soluções locais, à sustentabilidade econômica, social e ambiental. A mudança tecnológica é mais diversa, com forte ênfase nas iniciativas comunitárias e na inovação social, em lugar de soluções globais (IPCC & TGICA, 2007).

2.3. Cenários HadRM3 para o Acre

Os dados de radiação solar global - R_g ($MJ.m^{-2}.dia^{-1}$) utilizados foram as saídas ("outputs") das simulações do modelo HadRM3, no período de 1961 a 1990 "baselines", e para os cenários futuros A2 e B2, a simulação ocorreu entre 2070 e 2100. O período de estudo definido como clima atual "baseline" é o período de referência que define o clima atual nos relatórios do IPCC para o HadRM3.

A Figura 2 representa as condições iniciais do modelo "clima atual" para cada cenário -A2 e B2 -, com uma mudança temporal da taxa de CO_2 atmosférico de 350 ppmv (partes por milhão por

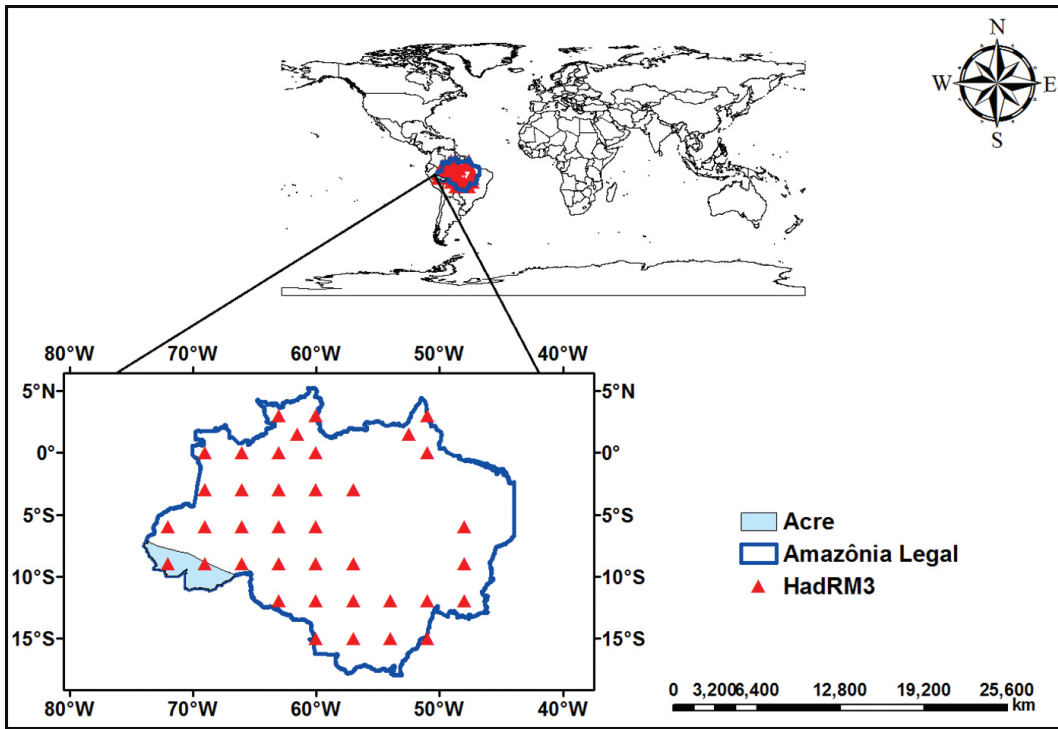


Figura 1. Localização geográfica da área de estudo – Estado do Acre, dando destaque à Amazônia Ocidental e à grade do modelo regional HadRM3.

Figure 1. Geographic location of the study area - state of Acre, highlighting the Western Amazon and the grid of the regional model HadRM3.

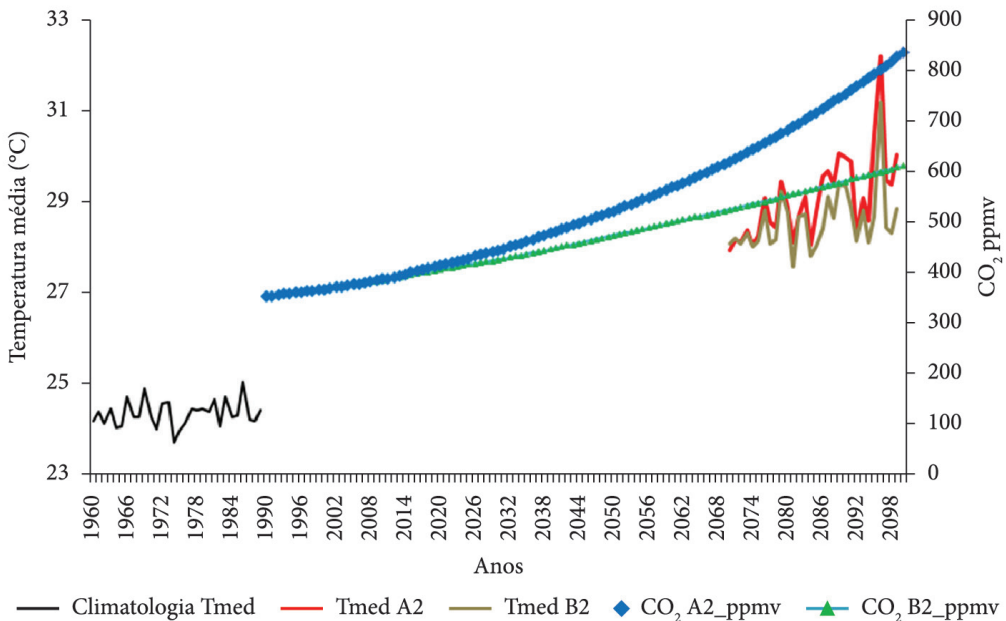


Figura 2. Condições atuais do modelo “baseline” e os diferentes cenários “A2 e B2” de temperatura média do ar (°C) e CO₂ para o modelo regional HadRM3.

Figure 2. Current model conditions “baseline” and the different scenarios “A2 and B2” average air temperature (°C) and CO₂ for the regional model HadRM3.

volume) para 370 ppmv, desde 1990 até 2000. Nos cenários A2 e B2, a concentração de CO₂ atinge o valor de 850 e 550 ppmv, em 2100, respectivamente (Figura 2).

2.4. Dados utilizados e análise espacial dos dados

A análise dos eventos climáticos de R_g para os diferentes cenários “A2” e “B2” foi feita com a saída da simulação do modelo HadRM3 para o Estado do Acre. Foram calculadas as sazonalidades de 2070 até 2100, com o intuito de facilitar a interpretação e a discussão dos resultados. Foram definidas duas estações distintas para ambos os cenários “A2” e “B2”: seca e chuvosa, sendo que a estação seca compreende abril a setembro, e a estação chuvosa, de outubro a março.

A conversão da grade pontual do HadRM3 deu-se em pontos dispersos, nos quais os padrões espaciais puderam ser descritos no Estado do Acre. O método de interpolação espacial aplicado aos pontos de grade do HadRM3 foi o de Krigagem Ordinária, utilizando-se o software ArcGIS 10.1 (Gondim et al., 2008; Justino et al., 2013). A krigagem tem a vantagem de otimizar a variável interpolada e tem sido amplamente utilizada em diversos trabalhos da Região Amazônica (Justino et al., 2013).

O método da Krigagem Ordinária permite calcular médias locais, limitando o domínio de estacionaridade da média à vizinhança local, centrada no ponto a ser estimado. Os valores da cota z são estimados em localizações espaciais (x_j, y_j) não observadas, sem a necessidade de se conhecer a média estacionária μ, a partir de uma combinação linear dos valores de um subconjunto amostral local (Felgueiras, 2001). A condição estabelecida no estudo foi que a soma dos ponderadores da Krigagem Ordinária l_i(x_j, y_j) fosse igual a 1.

O estimador de Krigagem Ordinária é dado por (Equação 1):

$$z(x_j, y_j) = \sum_{i=1}^{n(i)} \lambda_i(x_j, y_j) * z(x_i, y_i) \quad (1)$$

Em que:

z = cota na posição (x_j, y_j);

l_i(x_j, y_j) = ponderador da Krigagem Ordinária, para a cota especificada.

O modelo adotado foi o exponencial, já que este foi o que apresentou o menor erro na análise entre modelos da ferramenta *Geostatistical Wizard* do software ArcGIS 10.1. Este modelo atinge o patamar assintoticamente e o parâmetro “a” é definido como o alcance prático, e “h” é a distância na qual o valor do modelo é 95% do patamar (Isaaks & Srivastava, 1989). A equação é normalizada por (Equação 2):

$$\text{Exp}(|h|) = \begin{cases} 0 & , |h|=0 \\ 1 - \exp\left(-\frac{|h|}{a}\right) & , |h| \neq 0 \end{cases} \quad (2)$$

Através do modelo escolhido, foram confeccionados os mapas temáticos de R_g para os cenários citados anteriormente para todo o Estado do Acre, no período de 2070 até 2100.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Figuras 3 e 4, para os anos de 2070 até 2090, mostra-se a distribuição espacial de R_g para o cenário “A2” e “B2”. Notou-se que, em ambas as projeções de R_g nos cenários “A2” e “B2”, formou-se um gradiente característico na direção leste-oeste do Estado do Acre, independentemente da estação do ano. Os menores valores de R_g abrangeram toda a parte oeste do Estado Acreano, principalmente na estação seca, em ambos os cenários. Os valores intermediários localizaram-se na parte central, na direção norte-sul. E, por fim, os maiores valores de R_g foram observados na porção leste do Estado. Esses valores apresentam aumento significativo de R_g na estação chuvosa, no período de 2080 a 2090, em ambos os cenários.

As áreas que se destacaram com os menores valores de R_g podem funcionar, no futuro, como ilhas de frescor, na região oeste do Acre, principalmente no cenário otimista (B2), para ambas as estações. Os corpos hídricos existentes na região de estudo também funcionam como ilhas de frescor, considerando-se que estes não refletem a energia recebida na faixa do infravermelho e apresentam baixa reflectância. Além disso, os regimes de ventos predominantes que circulam nestas áreas resfriam e transportam umidade para as áreas circunvizinhas, na forma de circulações de brisa de rio e lacustre, contribuindo, assim, para menores valores de R_g.

De acordo com Querino et al. (2011), o conhecimento dos padrões da R_g , formada pelas componentes direta e difusa, acima e no interior das florestas, é primordial para o entendimento da disponibilidade de energia para os diversos processos

desse sistema, principalmente nas porções norte-sul e leste do Estado do Acre. Allen et al. (2007) também destacam que a R_g é a maior fonte de energia capaz de mudar grandes quantidades de água líquida na forma de vapor de água e, portanto, retroalimentar

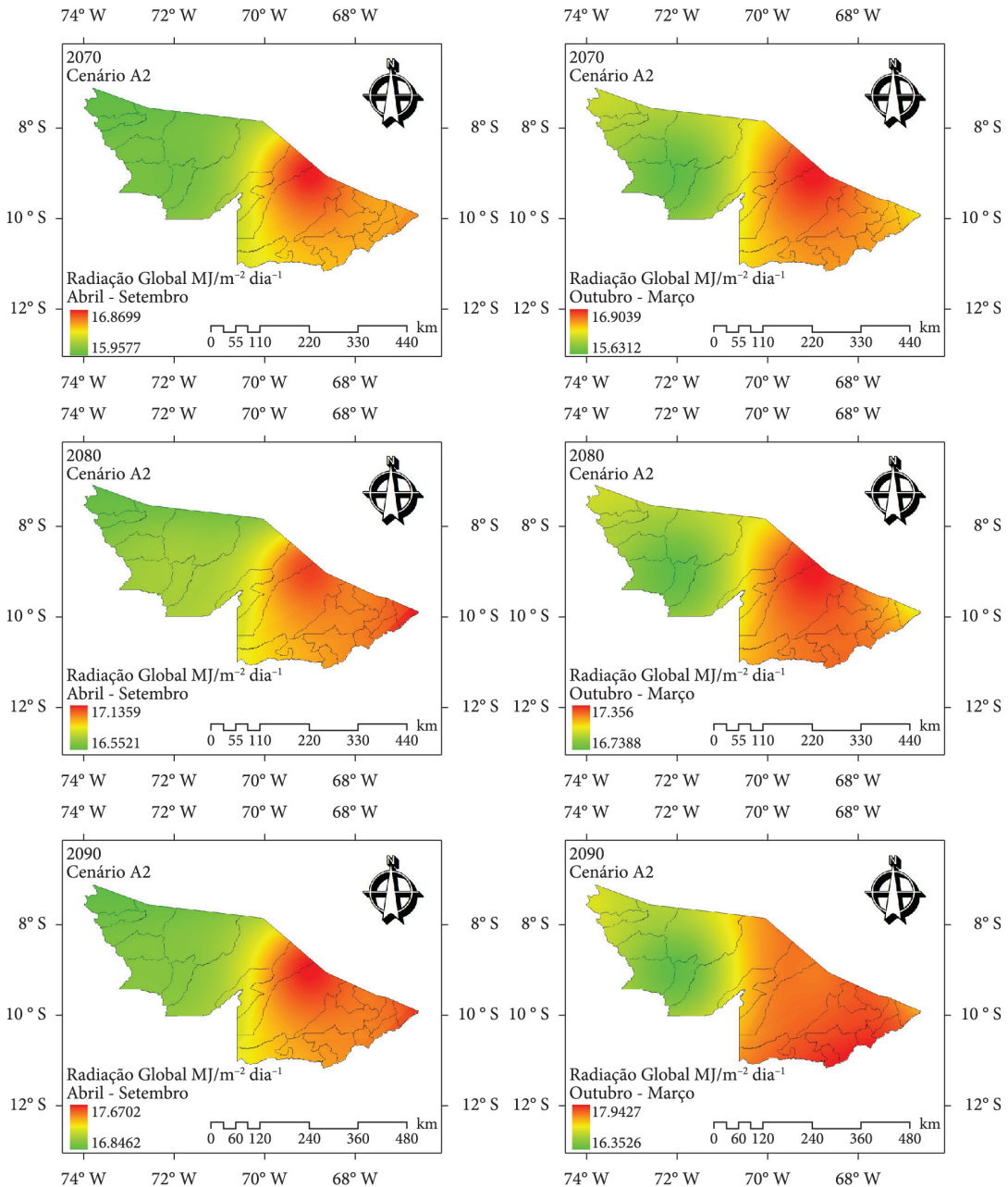


Figura 3. Projeções da R_g ($\text{MJ}/\text{m}^2/\text{dia}^{-1}$) para a estação seca (abril a setembro) e chuvosa (outubro a março), com referência ao período base 1961 a 1990, para o Estado do Acre. O cenário é o A2, pelo modelo HadRM3 de 2070 a 2090.

Figure 3. Projections R_g ($\text{MJ}/\text{m}^2/\text{day}^{-1}$) for the dry season (April to September) and rainy (October to March) with reference to the base period 1961-1990 for the state of Acre. The A2 scenario is the HadRM3 model 2070-2090.

a formação de nuvens e regimes de precipitação na região; tal quadro fica evidenciado principalmente na porção leste do Estado do Acre.

Após a identificação da formação do gradiente de R_g na avaliação espacial, foram calculadas as

frequências de ocorrência nas porções oeste, central e leste do Estado Acreano (Figura 5). Na estação chuvosa, o cenário A2 (Figura 5a), referente ao ano de 2080, apresentou a maior frequência com valores superiores a 34% na porção oeste, enquanto que, na

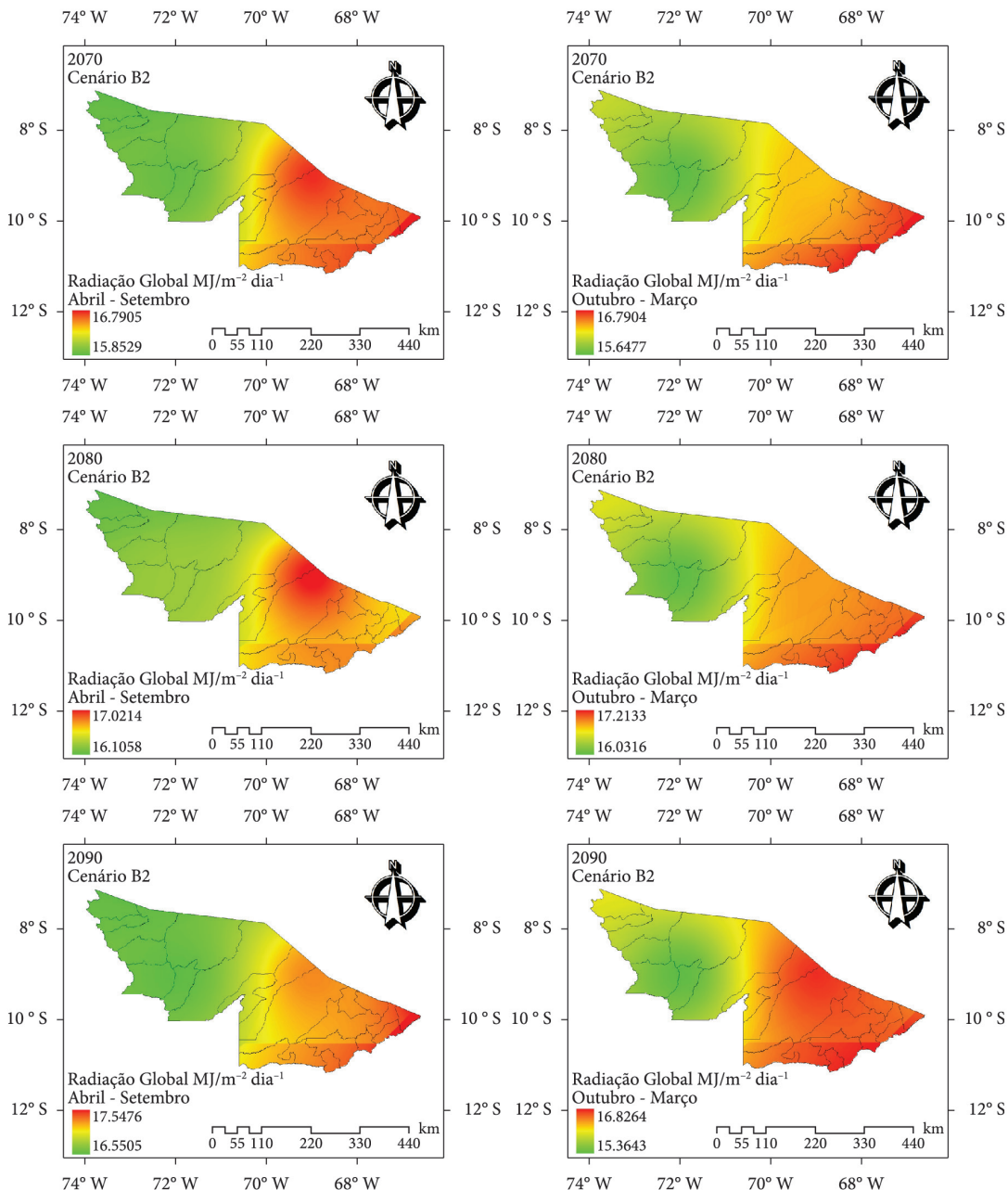


Figura 4. Projeções da R_g (MJ.m⁻².dia⁻¹) para a estação seca (abril a setembro) e chuvosa (outubro a março), com referência ao período base 1961 a 1990, para o Estado do Acre. O cenário é o B2, pelo modelo HadRM3 de 2070 a 2090.

Figure 4. Projections R_g (MJ.m⁻².day⁻¹) for the dry season (April to September) and rainy (October to March) with reference to the base period 1961-1990 for the state of Acre. The setting is the B2 model HadRM3 2070-2090.

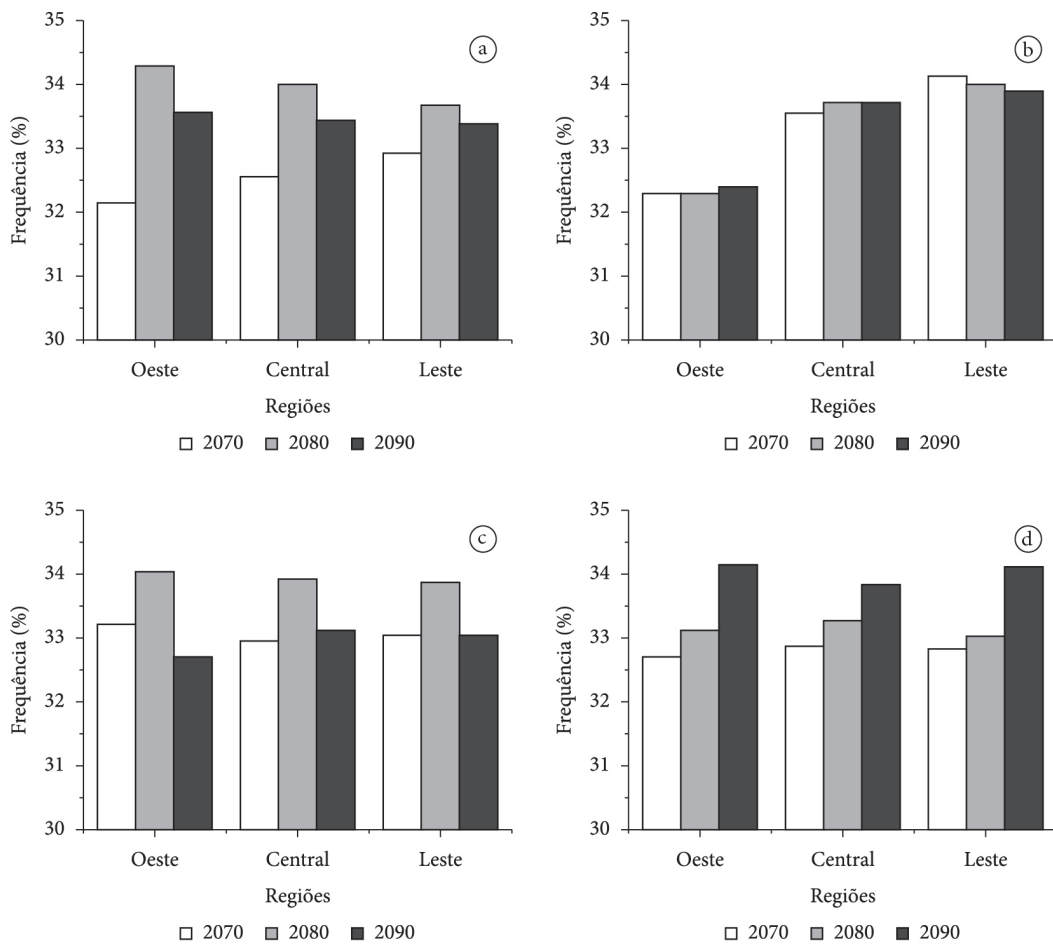


Figura 5. Análise de frequência (%) da radiação solar global para as regiões leste, central e oeste para os cenários A2 – estação chuvosa (a) e seca (b), e B2 – estação chuvosa (c) e seca (d), para os anos de 2070, 2080 e 2090, para o Estado do Acre.

Figure 5. Frequency analysis (%) of global radiation for areas east, central and west to the A2 scenarios - the rainy season (a) and dry (b) and B2 - wet season (c) and dry (d) for the years 2070, 2080 and 2090 for the state of Acre.

faixa central e na porção leste, ocorreu diminuição desse percentual. No ano de 2070, o gradiente de R_g observado foi inverso, ou seja, os valores identificados aumentaram na direção oeste-leste, com valores percentuais próximos de 33%. E, por fim, no ano de 2090, ocorreu aumento da frequência de R_g na direção leste-oeste, com valores de 33,5%. Na estação seca, o cenário A2 (Figura 5b), todas as frequências aumentaram na porção oeste-leste no Estado do Acre, chegando ao valor máximo de aproximadamente 34% para ambos os anos. Para estação chuvosa, referente ao cenário B2 (Figura 5c), a frequência diminuiu para ambos os anos de 2070 e 2080, na direção oeste-leste, sendo que apenas no

ano de 2090 houve aumento significativo para a parte central. Na estação seca, cenário B2 (Figura 5d), destacou-se a parte central do Estado para ambos os anos de 2070 e 2080. A exceção foi o ano de 2090, sendo que a parte central do Estado ficou caracterizada pelas menores frequências, enquanto que as porções leste e oeste do Estado apresentaram os maiores valores percentuais.

Delgado et al. (2012b) mostraram, a partir da análise do teste de Mann-Kendall (MK) de uma série de temperatura mínima do ar, no período de 1970 a 2010, uma tendência de elevação dos valores dessa variável para as localidades de Cruzeiro do Sul e Rio Branco. O modelo linear explicou 72% para Cruzeiro

do Sul, e 44% para Rio Branco, da variabilidade desse aumento.

As alterações das energias podem alterar a concentração de H_2O nestas regiões, o que ficou evidenciado na região Acreana, da qual estes resultados indicam descontinuidade significativa nas séries meteorológicas. Note-se que os maiores desvios positivos de temperatura mínima e pressão de saturação do vapor d' água (e_s) encontrados foram para as estações meteorológicas de Cruzeiro do Sul e Rio Branco, ao longo dos 39 anos analisados (Delgado et al., 2012b).

As áreas urbanas e com pouca ou sem vegetação (como, por exemplo, solo exposto) o leste e o sudeste do Estado se destacaram com os maiores valores de R_g e, conseqüentemente, de temperaturas do ar (Figuras 3 e 4). Isso se deve ao fato de o concreto e a areia possuírem propriedades de absorção térmica, o que faz com que o calor que é irradiado fique concentrado, resultando em áreas de maior campo térmico (Costa et al., 2010; Delgado et al., 2012a). Como resultados da substituição de superfícies naturais, como vegetação e solo nu, por materiais de construção, há redução da cobertura vegetal e alteram-se radicalmente as propriedades de impermeabilidade, radiativas, térmicas e aerodinâmicas da área urbana (Costa et al., 2010).

Os resultados percentuais (Figura 5) indicam que o mapeamento baseado no método de interpolação espacial da Krigagem Ordinária apresentou resultados satisfatórios, em função do crescimento

das áreas antropizadas, que vêm aumentando desordenadamente ao longo dos anos em alguns municípios do Acre (Delgado et al., 2012c). Esses autores, em uma análise sensorial em Rio Branco, constataram que as áreas antropizadas apresentaram aumento significativo para os anos de 2005, 2009 e 2010, sendo que mais de 130 mil hectares (ha) foram destinados a áreas antropizadas. Em Cruzeiro do Sul, Delgado et al. (2012c) notaram o crescimento médio de mais de 54 mil ha das áreas antropizadas entre os anos de 2005 e 2010. Outro resultado importante foi o aumento da temperatura da superfície em áreas antropizadas, com valores máximos próximos de $42^\circ C$.

Aumentando-se a capacidade da atmosfera de absorver radiação infravermelha, nossas emissões de GEE's estão perturbando o clima em relação ao equilíbrio entre a energia que entra e a energia que sai. Uma duplicação, na atmosfera, da quantidade de GEE's de vida longa (projetada para acontecer logo no começo do século 21) reduziria em 2%, caso não seja modificada, a proporção que o Planeta é capaz de irradiar energia para o espaço. A energia não pode simplesmente acumular. O clima vai ter de se ajustar de alguma forma para conseguir se distribuir a energia excedente e, enquanto 2% parecem não ser muito, tomando a Terra inteira, isso equivale a reter o conteúdo energético de 3 milhões de toneladas de petróleo por minuto (Marengo, 2007).

Na Figura 6 e na Tabela 1, foram realizadas as análises exploratória (box-plot) e descritiva (média, máximo, mínimo, desvio padrão, variância) dos

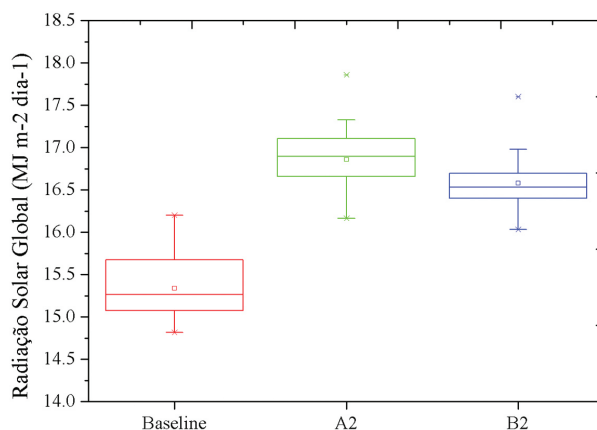


Figura 6. Box plot para os cenários atual ("baseline") e futuros ("A2" e "B2") de R_g ($MJ.m^{-2}.dia^{-1}$), para o Estado do Acre.
Figure 6. Box plot for the current (baseline) and future scenarios ("A2" and "B2") R_g ($MJ.m^{-2}.day^{-1}$) for the state of Acre.

Tabela 1. Análise descritiva da radiação solar global ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) dos cenários “baseline”, “A2” e “B2”, para o Estado do Acre.**Table 1.** Descriptive analysis of baseline scenarios, “A2” and “B2” for the state of Acre.

Estatística descritiva	baseline	A2	B2
Média	15,34	16,86	16,58
Mínimo	14,81	16,17	16,03
Máximo	16,20	17,88	17,60
Desvio Padrão	0,34	0,36	0,29
Variância	0,12	0,13	0,09
Coefficiente de variação (CV,%)	2,25	2,16	1,78

dados de R_g para os cenários climáticos “baseline” e futuro (“A2” e “B2”). Verificou-se que as maiores médias e *outliers* encontrados no estudo foram nos cenários “A2” e “B2”, em comparação ao cenário “baseline”. Os menores valores médios encontrados foram nos cenários “baseline” ($15,34 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) e “B2” ($16,58 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$), enquanto a maior média foi para o cenário “A2” ($16,86 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$). O aumento significativo entre os cenários de projeções e a “baseline” se deve ao tratamento dado à forçante radiativa, que é a perturbação do balanço de energia do sistema Terra-atmosfera. Há mudança significativa da concentração de CO_2 em ambos os cenários, “A2” e “B2”, citados anteriormente. Um forçamento radiativo positivo tende a aquecer a superfície e um forçamento radiativo negativo tende a esfriar a superfície (Marengo, 2007). No estudo, foi identificada essa forçante, principalmente na formação do gradiente entre as direções E-W do Estado Acre, para as estações seca e chuvosa.

No cenário “B2”, foi encontrado o menor desvio padrão em comparação aos demais cenários, o que significa baixa dispersão de R_g (alta concentração) dos escores, em torno da média. Enquanto que no cenário “A2”, o desvio padrão foi maior, o que indicou alta dispersão de R_g (baixa concentração) dos escores, em torno da média (Tabela 1). Os maiores coeficientes de variação (CV, %) foram calculados para os cenários “baseline” (2,25%) e “A2” (2,16%), o que indicou maior dispersão dos dados, em comparação ao cenário “B2” (1,78%).

4. CONCLUSÕES

Os menores valores de R_g abrangem a parte oeste do Estado Acre, na estação seca, em ambos

os cenários. Os valores intermediários de R_g são na direção norte-sul, seguidos dos maiores valores de R_g , que são na porção leste do Estado, ocorrendo um aumento significativo de R_g na estação chuvosa no período de 2080 a 2090, em ambos os cenários adotados no estudo pelo modelo HadRM3.

As análises estatísticas descritiva e exploratória dos cenários otimista, pessimista e “baseline” mostram que a forçante radiativa positivo tende a aquecer a superfície; ao contrário, a forçante radiativa negativo tende a esfriar a superfície, sendo identificado na formação do gradiente entre as direções leste-oeste do Estado Acre, para as estações seca e chuvosa, no período de estudo.

A análise descritiva revela que o cenário A2 apresenta os maiores valores estatísticos em relação aos demais cenários, indicando, portanto, uma alta dispersão de R_g dos escores em torno da média. Entretanto, nota-se que os maiores coeficientes de variação são observados para ambos os cenários, “baseline” e A2.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, pelo auxílio financeiro (processo nº 477207/2011-1), e à Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, pelo uso do Laboratório de Meteorologia e Climatologia do Departamento de Ciências Ambientais do Instituto de Florestas.

STATUS DA SUBMISSÃO

Recebido: 13 fev., 2014

Aceito: 07 ago., 2014

Publicado: 21 nov., 2014

AUTOR(ES) PARA CORRESPONDÊNCIA

Rafael Coll Delgado

Departamento de Ciências Ambientais,
Universidade Federal do Rio de Janeiro –
UFRRJ, CEP 23897-000, Seropédica, RJ, Brasil
e-mail: rafaelcoll@ufrj.br

REFERÊNCIAS

Agrawala S. *Explaining the Evolution of the IPCC Structure and Process*. Cambridge: Environment and Natural Resources Program: Kennedy School of Government: Harvard University; 1997.

Allen RG, Wright JL, Pruitt WO, Pereira LS, Jensen ME. Water Requirements. In: Hoffman GJ, Evans RG, Jensen ME, Martin DL, Elliott RL, editors. *Design and Operation of Farm Irrigation Systems*. 2nd ed. Nebraska: American Society of Agricultural & Biological; 2007. p. 208-288. <http://dx.doi.org/10.13031/2013.23691>.

Ambrizzi T, Rocha RP, Marengo JA, Pisnitchenco I, Nunes LA, Fernandez JPR. *Cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o Século XXI: projeções de clima futuro usando três modelos regionais*. São Paulo: CPTEC/INPE; IAG/USP; FBDS; 2007. 108 p. Relatório 3.

Camargo JS, Zebiak SE, Dewitt DG, Goddard L. *Seasonal Comparison of the Response of CCM3.6, ECHAM4.5 and COLA2.0 Atmospheric Models to Observed SSTs*. Palisades: International Research Institute for Climate Prediction: Lamont-Doherty Earth Observatory of Columbia University; 2001.

Cavalcanti IF, Marengo JA, Satyamurty P, Nobre CA, Trosnikov I, Bonatti JP et al. Global climatological features in a simulation using the CPTEC-COLA AGCM. *Journal of Climate* 2002; 15(21): 2965-2988. [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442\(2002\)015<2965:GCFIAS>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442(2002)015<2965:GCFIAS>2.0.CO;2).

Cook KH, Vizzy EK. Effects of Twenty-First-Century Climate Change on the Amazon Rain Forest. *Journal of Climate* 2008; 21(3): 542-560. <http://dx.doi.org/10.1175/2007JCLI1838.1>.

Costa DF, Silva HR, Peres LF. Identificação de ilhas de calor na área urbana de Ilha Solteira - SP através da utilização de geotecnologias. *Engenharia Agrícola* 2010; 30(5): 974-985. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162010000500019>.

Cox PM, Harris PP, Huntingford C, Betts RA, Collins M, Jones CD et al. Increasing risk of Amazonian drought due to decreasing aerosol pollution. *Nature* 2008; 453(7192): 212-215. <http://dx.doi.org/10.1038/nature06960>. PMID:18464740

D'Almeida C, Vörösmarty CJ, Hurtt GC, Marengo JA, Dingman SL, Keim BD. The Effects of Deforestation on the Hydrological Cycle in Amazonia: a Review on Scale and Resolution. *International Journal of Climatology* 2007; 27(5): 633-647. <http://dx.doi.org/10.1002/joc.1475>.

Delgado RC, Rodrigues RA, Pessôa CS, Daher M. Uso do sensoriamento remoto na estimativa dos efeitos de ilhas de calor. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais* 2012a; 25(9): 69-80.

Delgado RC, Souza LP, Rodrigues RA, Oliveira EC, Santos RSS. Tendência climática de aumento da temperatura mínima e da pressão de saturação do vapor d'água na Amazônia Ocidental. *Enciclopédia Biosfera* 2012b; 8(15): 2584-2598.

Delgado RC, Souza LP, Silva IWR, Pessôa CS, Gomes FA. Influência da mudança da paisagem amazônica no aumento da precipitação em Cruzeiro do Sul, AC. *Enciclopédia Biosfera* 2012c; 8(14): 665-674.

Duarte AF. Variabilidade e tendência das chuvas em Rio Branco, Acre, Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia* 2005; 20(1): 37-42.

Felgueiras CA. *Modelagem ambiental com tratamento de incertezas em sistemas de informação geográfica: o paradigma geoestatístico por indicação* [tese]. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais; 2001.

Flato G, Marotzke J, Abiodun B, Braconnot P, Chou SC, Collins W et al. Evaluation of Climate Models. In: Stocker TF, Qin D, Plattner G-K, Tignor M, Allen SK, Boschung J et al., editors. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press; 2013. p. 768-769.

Gondim RS, Castro MAL, Evangelista SRM, Teixeira AS, Fuck SCF Jr. Mudanças climáticas e impactos na necessidade hídrica das culturas perenes na Bacia do Jaguaribe, no Estado do Ceará. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 2008; 43(12): 1657-1664. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2008001200003>.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. *Diagnóstico Ambiental da Amazônia Legal* [CD-ROM]. Rio de Janeiro; 1997.

Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC. Summary for Policymakers. In: Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB et al., editors. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press; 2007a.

Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC. Summary for Policymakers. In: Parry ML, Canziani OF, Palutikof JP, Van Der Linden PJ, Hanson CE,

- editors. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press; 2007b.
- Impact and Climate Assessment: Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC. Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Assessment – TGICA. *General guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment*. Helsinki; 2007. 66 p. Version 2.
- Isaaks EH, Srivastava RM. *An introduction to applied geostatistics*. New York: Oxford University Press; 1989. 561 p.
- Justino F, Oliveira EC, Rodrigues RA, Gonçalves PHL, Souza PJOP, Stordal F et al. Mean and Interannual Variability of Maize and Soybean in Brazil under Global Warming Conditions. *American Journal of Climate Change* 2013; 2(4): 237-253. <http://dx.doi.org/10.4236/ajcc.2013.24024>.
- Marengo JA, Cavalcanti IFA, Satyamurty P, Trosnikov I, Nobre CA, Bonatti JP et al. Assessment of regional seasonal rainfall predictability using the CPTEC/COLA atmospheric GCM. *Climate Dynamics* 2003; 21(5-6): 459-475. <http://dx.doi.org/10.1007/s00382-003-0346-0>.
- Marengo JA, Jones R, Alves L, Valverde M. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. *International Journal of Climatology* 2009; 29(15): 2241-2255. <http://dx.doi.org/10.1002/joc.1863>.
- Marengo JA. *Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente; 2007. Série Biodiversidade vol. 26.
- Marengo JA. Extreme Rainfall and the Flood of the Century in Amazonia 2009. *Bulletin of the American Meteorological Society* 2010; 97(22): 149-158.
- Nobre, CA, Obregón, GO, Marengo, JA, Fu, R, Poveda, G. Characteristics of Amazonian climate: Main features. *Geophysical Monograph Series* 2009; 186(1): 149-162.
- Providing Regional Climates for Impacts Studies – PRECIS. *The PRECIS Regional Climate Modelling System*. Exeter: Hadley Centre; 2002. 20 p.
- Querino CAS, Moura MAL, Querino JKAS, Von Radow C, Marques ADO Fo. Estudo da radiação solar global e do índice de transmissividade (kt), externo e interno, em uma floresta de mangue em Alagoas - Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia* 2011; 26(2): 204-214. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862011000200005>.
- Zeng N, Yoon JH, Marengo JA, Subramaniam A, Nobre CA, Mariotti A et al. Causes and impacts of the 2005 Amazon drought. *Environmental Research Letters* 2008; 3(1): 1-9. <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/3/1/014002>.