



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

ESTUDO DA VARIABILIDADE TEMPORAL E ESPACIAL DE
PRECIPITAÇÃO CONSIDERANDO OS CENÁRIOS CLIMÁTICOS FUTUROS,
COM ÊNFASE EM EVENTOS EXTREMOS, PARA O MUNICÍPIO DE
CAMPINAS – SP

Luiza Marchezan Bezerra(a), Ana Maria H. de Avila(b), Vânia Rosa Pereira(c)

- (a) Departamento de Geografia /Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, luiza.bezerra04@gmail.com
- (b) Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura /Universidade Estadual de Campinas, avila@cpa.unicamp.br
- (c) Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura /Universidade Estadual de Campinas, rosa.vania@gmail.com

Eixo: A Climatologia no contexto dos estudos da paisagem e sócioambientais

Resumo

A sociedade, em escala global, é sensível às variações e mudanças ocasionadas pelos eventos climáticos extremos. Estudos indicam que a frequência e intensidade dos extremos de precipitação vêm aumentando em todo o planeta em decorrência aquecimento global, trazendo à tona a necessidade de discussão e mitigação da vulnerabilidade dos sistemas naturais e humanos. Este trabalho teve como objetivo o estudo das variações da frequência e da variabilidade espacial dos eventos extremos de precipitação em Campinas, considerando o clima presente, 1961-1990 e futuro 2021-2050. Foram utilizados os dados de superfície da estação meteorológica do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e do modelo climático regional ETA-HADGEM2-ES. Os resultados apontam para um aumento na frequência de chuvas com o limiar de 80 mm acumulados em três dias consecutivos e redução do número de dias com chuvas. Estas mudanças podem impactar a economia da RMC, intensificando os problemas sociais e econômicos.

Palavras chave: Precipitação, Eventos Extremos, ETA-HADGEM2-ES



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

1. Introdução

O intenso crescimento das áreas urbanas em todo o mundo, principalmente nos países em desenvolvimento, potencializa os danos causados pelas mudanças climáticas, sendo este um dos principais problemas enfrentados pela sociedade na atualidade (CAVALCANTI et al, 2017). De acordo com Mendonça (2015), mais de 50% da população mundial vivem em áreas urbanas, havendo intensa intervenção antrópica na deterioração da qualidade e das condições de vida dos homens que nelas se reproduzem. No caso do Brasil, este fato decorre da acelerada urbanização registrada a partir da segunda metade do século XX, considerada uma das mais rápidas e intensas do mundo. Desprovida de qualquer orientação na ocupação e produção dos espaços urbanos, gerando a proliferação da degradação socioambiental. Tem sido observada uma tendência de aumento na frequência de eventos extremos de precipitação para diversas regiões da América do Sul, o que contribui para o aumento do número de ocorrência de desastres naturais como deslizamentos de terra e inundações (MARENGO, 2009). Estudos realizados pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (International Panel on Climate Change - IPCC) demonstram que, em cenários futuros de clima, a frequência e intensidade de eventos extremos de curta duração, como chuvas intensas, ondas de calor e frio, períodos secos e furacões, poderão se intensificar provocando impactos negativos para a população e os ecossistemas naturais (IPCC, 2014). Embora as condições meteorológicas extremas façam parte da vulnerabilidade natural do sistema climático, estes eventos podem causar impactos e grandes perturbações nos sistemas naturais e humanos. Aspectos como infraestruturas precárias e mecanismos institucionais inexistentes ou frágeis voltados para lidar com extremos de variabilidade e mudança climática devido, principalmente, à falta de recursos financeiros e elevadas disparidades sócioespaciais, contribuem para potencializar os impactos mais severos dos eventos climáticos extremos. Assim, impactos das mudanças climáticas exigirão adaptações que, por sua



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

vez, serão baseados em projeções realizadas através de simulações de diversos modelos globais e regionais (CAVALCANTI et al, 2017).

Modelos globais e regionais de projeções de climas futuros têm sido bastante utilizados com o intuito de fornecer informações que possam ser úteis para tomadas de decisão frente à urgente necessidade de adaptação de áreas vulneráveis. Neste trabalho foi utilizado o modelo regional ETA-HADGEM2-ES, resultado do segundo alinhamento realizado a partir de simulações do modelo climático global inglês HADGEM2-ES de 20km x 20km. O modelo é disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), com 5km x 5km de resolução espacial e cenários RCP (Representative Concentration Pathways) 4.5 e 8.5. De acordo com Lyra et al (2018), este modelo é capaz de simular as frequências de distribuição de precipitação de maneira consistente, através das estruturas observadas e os valores extremos obtidos a partir do modelo. Dados meteorológicos obtidos da estação de superfície do Instituto Agrônomo de Campinas, também foram utilizados como parâmetro para as análises dos dados obtido pelo modelo no presente. De acordo com as orientações da Defesa Civil do município de Campinas, o limiar para chuvas intensas é de 80mm em três dias consecutivos para que haja a emissão de alertas para possíveis riscos de desastres naturais, como inundações e movimentos de massa. Assim, este limiar também serviu de apoio para as análises que visaram identificar e quantificar a frequência dos eventos de chuvas intensas num período de três dias consecutivos em Campinas, ao longo dos dois períodos de 30 anos estudados: um considerando o clima presente (1961 a 1990) e outro considerando o clima futuro (2021 a 2050).

1.1. Área de Estudo

O município de Campinas (Figura 1) ocupa uma área total de 794,40 km² com altitude média de 680 metros acima do nível do mar. Localiza-se a sudoeste do estado de São Paulo



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

(coordenadas geográficas: 22°53'20"S; e 47°04'40"O) (CAMPINAS, 2018). Possui clima tropical de altitude, caracterizado pelo verão quente e úmido e inverno ameno e seco (Cwa, segundo a classificação climática de Köppen).

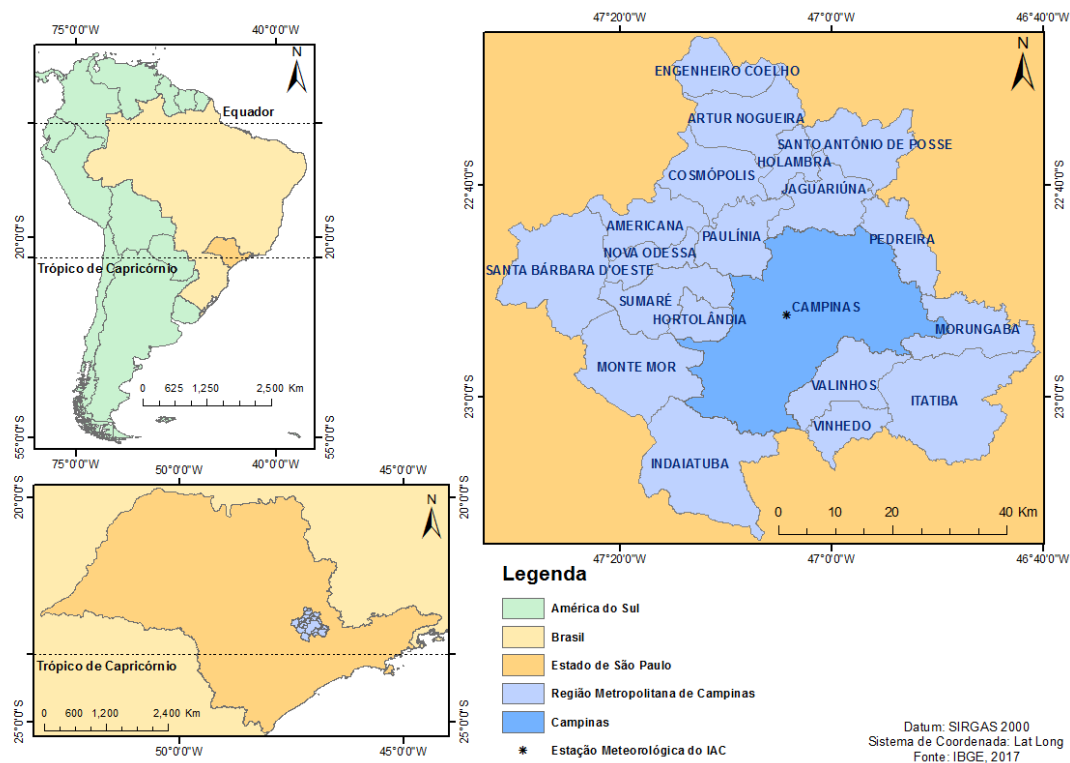


Figura 1. Localização do Município de Campinas

Campinas situa-se a aproximadamente 150 km do Oceano Atlântico e o regime de precipitação é fortemente caracterizado pelo contraste sazonal, sendo o verão o período mais chuvoso devido a uma série de processos atmosféricos que contribuem para o aumento da umidade, principalmente em decorrência do desenvolvimento da Zonas de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Já as precipitações que ocorrem durante o inverno são resultantes da atuação de frentes frias atingem a região durante este período (CAVALCANTI et al, 2017).



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

O processo de urbanização do município teve início na década de 1970 e foi impulsionado pelo avanço da interiorização das indústrias no Estado de São Paulo, o que contribuiu para a atração de grandes contingentes populacionais e de investimentos econômicos e técnicos industriais que auxiliaram na formação de um novo centro urbanizado em escala regional (CAIADO e PIRES, 2015). Atualmente, Campinas possui 1.182.429 de habitantes e densidade demográfica de 1.359,60 habitantes/km² (IBGE, 2018). Trata-se ainda de ser um município com uma taxa de urbanização de 98,3% (CAMPINAS, 2018). O município ainda se insere na Região Metropolitana de Campinas (RMC), constituída por 20 municípios, abrangendo uma área territorial de 3.467 km² e aproximadamente 3 milhões habitantes (IBGE, 2018). A região vem se consolidando na economia local e nacional, comportando um moderno e diversificado parque industrial, e um importante centro de pesquisas científicas, tecnológicas e de inovação. A estrutura agrícola da região também é bastante expressiva, sendo as principais culturas o café, a cana-de-açúcar e frutas, além de um setor terciário significativamente especializado (CAVALCANTI et al., 2017). Concomitantemente, a partir da década de 1970, Campinas sofreu intensas e rápidas transformações sociais, econômicas e ambientais. Seu espraiamento urbano ocorreu de forma desordenada, sem planejamento efetivo, onde a expansão foi mais rápida que a disseminação de infraestrutura necessária para mitigar os impactos locais consequentes dos eventos climáticos extremos. Como consequência, parte da população vive em áreas de grande risco para desastres naturais, que passarão a ocorrer com maior frequência e magnitude devido às mudanças climáticas globais, como inundações e colapsos de terrenos (VICENTE e NUNES, 2004; CAVALCANTI et al., 2017).

2. Materiais e Métodos

Para a realização deste trabalho, foi necessária a obtenção de dados de precipitação para os cenários presente e futuro. Para o cenário presente (1961-1990), foram utilizados dados



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

de precipitação fornecidos pelo Instituto Agrônomo de Campinas e dados do modelo regional ETA-HADGEM2-ES. Já os dados de precipitação para o cenário futuro (2021-2050), somente os dados do modelo regional ETA-HADGEM2-ES foram utilizados, no qual foram disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) através da página do PROJETA (<https://projeta.cptec.inpe.br>). Para o estudo da frequência dos eventos extremos de precipitação, foi realizada a soma acumulada da precipitação em três dias consecutivos. Já a análise do desempenho do modelo em comparação com os dados observados, foi calculado o viés estatístico, por meio da seguinte fórmula, utilizando dados da estação do IAC e do modelo para mesmo cenário presente (1961-1990):

Viés =

$$\frac{\text{Média aritmética dos dados simulados (ETA)} - \text{média aritmética dos dados observados (IAC)} \times 100}{\text{Média aritmética dos dados observados (IAC)}}$$

Média aritmética dos dados observados (IAC)

3. Resultados e Discussões

3.1. Frequência dos Eventos Extremos de Precipitação

As simulações realizadas com o modelo regional ETA-HADGEM2-ES indicam que haverá aumento dos eventos extremos acima de 80 mm no acumulado de três dias consecutivos (Figura 2). Nota-se que, entre o período de 2021 a 2050, poderá haver um único ano com cerca de 30 eventos extremos de chuva. Observa-se também o aumento do número de anos com a ocorrência de 0 a 5 eventos/ano, passando de 9, como apresentado pelos dados do IAC, para 26 anos, segundo os dados do modelo.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

Com relação à análise realizada com os dados de chuvas obtidos da estação meteorológica de superfície do IAC, para o período de 1961 a 1990, foi constatado que, em apenas 9 anos, dentro da análise da série histórica de 30 anos analisada, houve de 0 a 8 eventos de chuvas extremas no município de Campinas, enquanto houveram 2 anos que apresentaram cerca de 10 e 13 eventos, cada. Estas mudanças podem impactar diretamente toda a economia da RMC, intensificando os problemas sociais decorrentes das inundações e das secas que poderão atingir a região (CAVALCANTI et al., 2017).

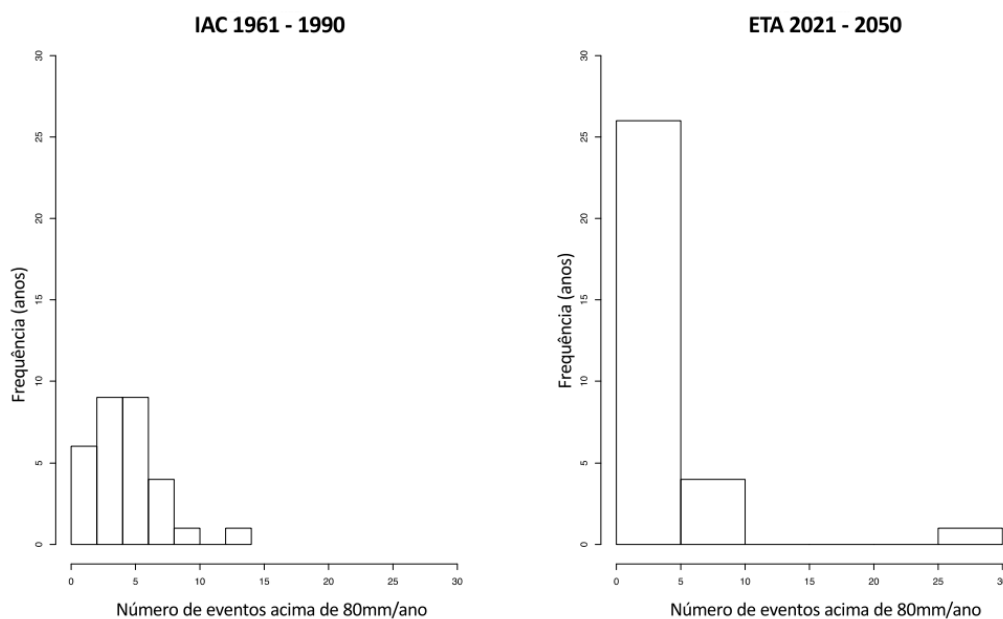


Figura 2. Frequência de Eventos Extremos de Precipitação acima de 80 mm/ano

3.2. Desempenho do Modelo ETA-HADGEM2-ES

A média mensal dos dados de precipitação para a estação meteorológica IAC é de 115 mm e, para o ETA, de 175 mm, com viés de 52,6% (Figura 3). Assim, o resultado desta análise



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

demonstra que a modelo superestima os dados do IAC em 60 mm, apresentando, portanto, um aumento nos montantes de precipitação para o município de Campinas.

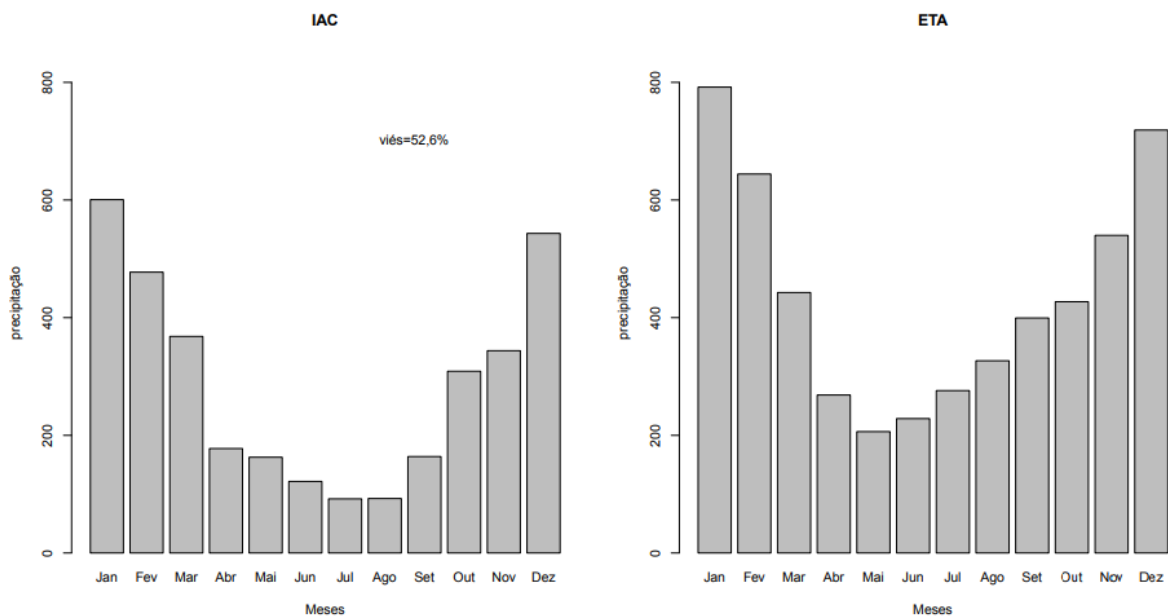


Figura 3. Precipitação dos dados observados e dos dados do modelo ETA-HADGEM2-ES

3.3. Variabilidade Espacial dos Dados de Precipitação

De acordo com as projeções referentes aos cenários presente e futuro, a variabilidade espacial da intensidade das chuvas no município de Campinas demonstra que, para o período de 2021 a 2050, poderá haver uma diminuição da intensidade das chuvas, não ultrapassando 1.700mm, caracterizando um clima mais seco (Figura 4). No período de 1961 a 1990, no entanto, os dados do ETA-HADGEM2-ES simularam um clima mais úmido, com a ocorrência de chuvas acima de 1.700 mm.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

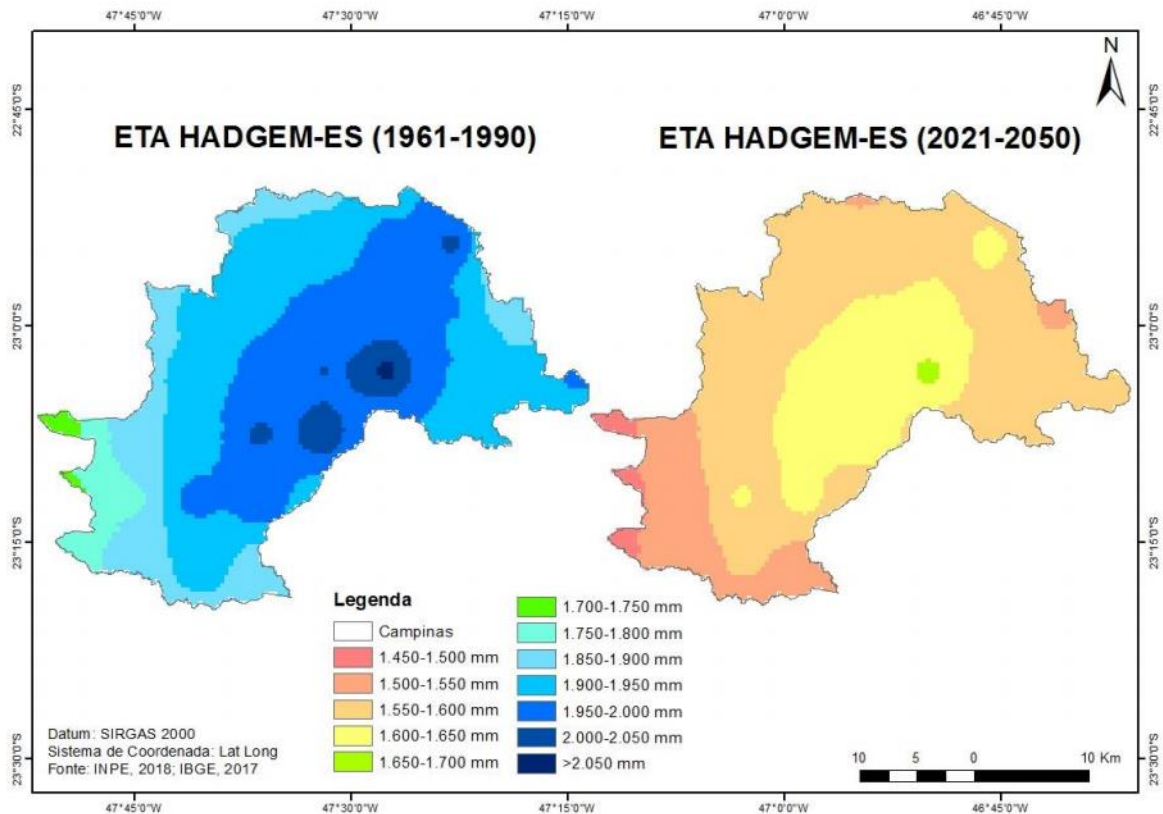


Figura 4. Variabilidade espacial da precipitação em dois cenários distintos do modelo ETA-HADGEM-ES

4. Considerações Finais

De acordo com os resultados obtidos, é possível observar que poderá haver aumento dos eventos extremos no cenário futuro, com a intensificação da frequência de chuvas extremas para o limiar de 80 mm acumulados em três dias consecutivos, porém haverá uma redução do número de dias com chuvas. O viés de 52,6%, demonstra que há necessidade de melhorar o desempenho do modelo, bem como técnicas de análise para que os resultados dos modelos



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

globais e regionais possam ser usados como importante instrumento de gestão para políticas públicas que visam à adaptação e mitigação dos impactos das mudanças do clima global.

Estas mudanças podem impactar a economia da RMC, intensificando os problemas sociais e econômicos. No entanto, o modelo não deve ser levado como verdade absoluta, e sim para servir de respaldo ou referência para tomadas de decisões frente ao objetivo de criar políticas públicas que visem a adaptação e atenuação dos impactos dos eventos extremos frente à sociedade.

Agradecimentos

Dedico um agradecimento especial à minha orientadora Ana Maria Heuminski de Avila e ao Cepagri pela oportunidade de desenvolver este projeto, à Dra. Chou pela disponibilidade dos dados do modelo ETA-HADGEM2-ES e ao Instituto Agrônomo de Campinas pela disponibilidade dos dados de superfície

Referências Bibliográficas

CAIADO, M. C. S.; PIRES, M. C. S. Campinas Metropolitana: transformações na estrutura urbana atual e desafios futuros. Disponível em Acesso em: 30 de maio de 2018, às 15h30.

CAMPINAS. Dados do município e RMC. Disponível em Acesso em: 22 de julho de 2018, às 09h.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

CAVALCANTI, I. F. A. et al. Projections of Precipitation Changes in Two Vulnerable Regions of São Paulo State, Brazil. *American Journal of Climate Change*, v. 06, n. 02, p. 268–293, 2017.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – Campinas/SP. Disponível em Acesso em: 21 de julho de 2018, às 10h.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS 2014: Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade - Resumo para Decisores. Contribuição do Grupo de Trabalho II para o Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas. Instituto ed. Lisboa-Portugal: [s.n.].

LYRA, A. et al. Climate change projections over three metropolitan regions in Southeast Brazil using the non-hydrostatic Eta regional climate model at 5-km resolution. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 132, n. 1–2, p. 663–682, 2018.

MARENGO, J. A. Impactos de extremos relacionados com o tempo e o clima: Impactos sociais e econômicos. *Mudanças Climáticas*, n.8, p. 1-5, maio 2009. Disponível em: . Acesso em: 07 de março de 2018.

MENDONÇA, F. O estudo do SCU – Sistema Clima Urbano no Brasil: aplicações e avanços. In: MONTEIRO, C.A.F. (org); et al. *A construção da climatologia geográfica no Brasil*. Campinas: Editora Línea, 2015.

VICENTE, A.K., NUNES, L.H. Extreme precipitation events in Campinas, Brazil. *Terrae*, v.1, p.60-62, 2004.