



**Universidade Federal do Tocantins
Campus Universitário de Gurupi
Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais**

RHONAN MARTINS DE SOUSA

**MUDANÇAS CLIMÁTICAS FUTURAS SIMULADAS PELOS
MODELOS REGIONAIS ETA-HADGEM2-ES E ETA-MIROC5 PARA
O ESTADO DO TOCANTINS**

**GURUPI - TO
2017**



**Universidade Federal do Tocantins
Campus Universitário de Gurupi
Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais**

RHONAN MARTINS DE SOUSA

**MUDANÇAS CLIMÁTICAS FUTURAS SIMULADAS PELOS
MODELOS REGIONAIS ETA-HADGEM2-ES E ETA-MIROC5 PARA
O ESTADO DO TOCANTINS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Universidade Federal do Tocantins como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Ribeiro Viola

Coorientador: Prof. Dr. Marcos Giongo

**GURUPI - TO
2017**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
(CIP)**
**Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do
Tocantins**

S725m Sousa, Rhonan Martins de.

Mudanças climáticas futuras simuladas pelos modelos regionais Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 para o estado do Tocantins. / Rhonan Martins de Sousa. - Gurupi, TO, 2017. 92 f.

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do Tocantins - Câmpus Universitário de Gurupi - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) em Ciências Florestais e Ambientais, 2017.

Orientador: Marcelo Ribeiro Viola

Coorientador: Marcos Giongo

1. Cerrado. 2. Simulação climática. 3. Gestão de recursos naturais. 4. Avaliação de modelos. I. Título

CDD 628

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS - A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS E AMBIENTAIS
Rua Badejós, Chácara 69 e 72 - CEP: 77402-970 - Caixa Postal 66 | Gurupi/TO
(63) 3311-3516 | www.uft.edu.br/cfa | pgcfa@uft.edu.br



Defesa nº 049/2017

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE RHONAN MARTINS DE SOUSA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS E AMBIENTAIS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS.

Aos 26 dias do mês de agosto do ano de 2017, às 08 horas, na sala de reuniões do prédio do CeMAF, do Campus de Gurupi, da Universidade Federal do Tocantins – UFT, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Orientador Dr. MARCELO RIBEIRO VIOLA da Universidade Federal de Lavras, Prof Dr JUNIOR CESAR AVANZI da Universidade Federal de Lavras e Prof Dr MARCOS GIONGO da Universidade Federal do Tocantins, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de RHONAN MARTINS DE SOUSA, intitulada **"Mudanças climáticas futuras simuladas pelos modelos regionais ETA-HADGEM2-ES e ETA-MIROC5 para o estado do Tocantins"**. Após a exposição, o discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo parecer favorável à aprovação, com as devidas ressalvas e correções apontadas pela banca examinadora, habilitando-o ao título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais. Nada mais havendo a tratar, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

Dr. Marcelo Ribeiro Viola
Universidade Federal de Lavras
Orientador e presidente da banca examinadora

Dr. Júnior Cesar Avanzi
Universidade Federal de Lavras
Primeiro examinador

Dr. Marcos Giongo
Universidade Federal do Tocantins
Segundo examinador

Gurupi, 26 de agosto de 2017.

Marcos Giongo
Coordenador do Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais

DEDICATÓRIA E AGRADECIMENTO

“A Deus, aos meus pais Alessandra e Deroci e a toda minha família”.

DEDICO.

A Deus, pela proteção diária e que sempre me deu forças para nunca desistir.

Aos meus pais, Alessandra Martins de Souza e Deroci Santos de Sousa, e irmãos, pelo carinho, compreensão e incentivo ao alcançar meus objetivos. À toda minha família, pela confiança e apoio dado nos momentos difíceis.

Ao meu orientador Prof. Dr. Marcelo Ribeiro Viola, pela orientação, paciência, confiança, ensinamentos, pela sua disponibilidade sempre que solicitado e acima de tudo pela amizade.

À pesquisadora Dra. Sin Chan Chou, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), pela disponibilização dos dados de simulações climáticas para o Tocantins.

Ao Prof. Ms. Marco Antonio Vieira Morais, do Instituto Federal do Mato Grosso, que esteve sempre disponível em auxiliar na separação das variáveis e tabulação dos dados.

Agradeço aos professores participantes da banca examinadora: Prof. Dr. Junior Cesar Avanzi e Prof. Dr. Marcos Giongo pelas contribuições que engrandeceram esse estudo.

Aos amigos, pelo companheirismo diário, parcerias e amizade criada ao longo desses anos, e aos colegas de graduação e mestrado, pelos conhecimentos compartilhados e bons momentos de alegria.

Ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), pela disponibilização de dados climáticos e informações sobre as estações meteorológicas inseridas no Tocantins.

À Universidade Federal do Tocantins e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, pela oportunidade de realização do curso de mestrado, e a todos os professores do PGCFA, por todo o ensinamento passado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo.

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio financeiro ao projeto nº 482075/2013-9 e pela concessão de bolsa produtividade em pesquisa (processo CNPq 305854/2015-1).

Obrigado a todos!

RESUMO

O bioma Cerrado está presente em 91% do Estado do Tocantins. Este bioma apresenta elevada riqueza biológica e nele ocorrem importantes mananciais brasileiros. Com o aumento da emissão de gases do efeito estufa por fontes antrópicas, possíveis mudanças climáticas representam uma ameaça para a diversidade biológica e recursos hídricos deste ambiente. Neste âmbito, uma das principais demandas científicas e ambientais da atualidade consiste da estruturação de modelos climáticos que subsidiem a tomada de decisão, visando a atenuação ou mesmo a mitigação de possíveis impactos decorrentes de mudanças climáticas. Tendo-se em vista as incertezas sobre a concentração futura de GEEs, o IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) estruturou diferentes trajetórias para o forçamento radiativo ao longo do século XXI, sendo denominadas RCPs (*Representative Concentration Pathways*). Os RCPs abordam desde futuros otimistas, nos quais a forçante radiativa decorrentes de ações antrópicas é reduzida (RCP 2.6), até situações pessimistas (RCP 8.5), sendo o RCP 4.5 uma situação considerada intermediária. Assim, Modelos Climáticos Globais (MCGs) vem sendo aplicados para a simulação das mudanças climáticas inerentes aos diferentes RCPs ao longo do século XXI. Entretanto, para a análise regional das mudanças climáticas torna-se necessária a regionalização das informações de macro escala geradas pelos MCGs, através de modelos climáticos regionais, com destaque para o modelo Eta no Brasil. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi a avaliação de cenários climáticos simulados pelos modelos climáticos regionais Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 para o Estado do Tocantins. O presente estudo foi estruturado em dois capítulos com objetivos específicos, sendo: (1) avaliar a qualidade estatística do clima presente ou *baseline* (1961-2005) projetado pelos modelos climáticos para a localização de cinco estações meteorológicas que dispõe de dados observados (precipitação total anual, precipitação máxima diária anual, temperatura máxima diária anual, temperatura média anual, temperatura mínima diária anual e umidade relativa anual), sendo: Araguaína, Pedro Afonso, Peixe, Porto Nacional e Taguatinga; (2) mapeamento das mudanças climáticas simuladas para o Estado do Tocantins pelos modelos climáticos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 nos RCPs 4.5 e 8.5, nos períodos seco e chuvoso, para os intervalos de 2007 a 2040 e 2041 a 2070, abrangendo as seguintes variáveis: precipitação, evapotranspiração real, temperatura máxima, temperatura média, temperatura mínima e umidade relativa. Os resultados mostraram necessidade de realização da remoção dos erros sistemáticos dos modelos climáticos previamente à utilização das projeções futuras. Quanto à simulação do clima presente, o modelo Eta-MIROC5 obteve melhor desempenho para a precipitação total anual e umidade relativa anual, enquanto que o modelo Eta-HadGEM2-ES obteve melhor desempenho para a temperatura (máxima diária anual, média anual e mínima diária anual). Na simulação climática futura, de maneira geral, ambos modelos apresentaram prognósticos mais severos para o RCP 8.5 no segundo período futuro avaliado (2041 a 2070) para o Estado do Tocantins. As projeções do modelo Eta-HadGEM2-ES apresentaram maior grau de severidade para a precipitação, temperatura (máxima, média e mínima), evapotranspiração real e umidade relativa, quando comparadas às projeções do Eta-MIROC5. O modelo Eta-HadGEM2-ES projetou para o período de 2041 a 2070 (RCP 8.5) aumento da temperatura média de até 4,9 °C, enquanto que para o mesmo período e RCP simulado pelo Eta-MIROC5 o aumento projetado foi de 2,9 °C. Ainda para este período e RCP as reduções simuladas para a precipitação

chegou a 462,1 e 383,1 mm, pelos modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5, respectivamente. Foram simuladas regiões do Estado com mudanças climáticas mais severas. Destaca-se a região Centro-Sul, nas proximidades da UHE Peixe/Angical para o regime de chuvas e a região Sul da Ilha do Bananal e APA dos Meandros do rio Araguaia para a temperatura.

Palavras-chave: Cerrado; simulação climática; gestão de recursos naturais; avaliação de modelos

ABSTRACT

The Cerrado biome is present in 91% of the State of Tocantins. This biome presents high biological wealth and in it occur important Brazilian springs. With increasing greenhouse gas emissions by anthropic sources, possible climatic change poses a threat to the biological diversity and water resources of this environment. In this context, one of the main scientific and environmental demands of today consist in the structuring of climatic models that subsidize decision making, aiming the attenuation or even mitigation of possible impacts due to climatic change. Given the uncertainties about the future concentration of GHGs, the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) has structured different paths for radiative forcing throughout the XXI century, being called RCPs (Representative Concentration Pathways). The RCPs approach from optimistic futures, in which the radiative forcing due to anthropic actions is reduced (RCP 2.6), to pessimistic situations (RCP 8.5), with RCP 4.5 being considered as an intermediate situation. Thus, Global Climatic Models (MCGs) have been applied to the simulation of the climatic changes inherent in different CPRs throughout the XXI century. However, regional analysis of climate change requires the regionalization of macro-scale information generated by MCGs through regional climate models, with emphasis on the Eta model in Brazil. In this context, the objective of this work was the evaluation of climatic scenarios simulated by the regional climatic models Eta-HadGEM2-ES and Eta-MIROC5 for the State of Tocantins. The present study was structured in two chapters with specific objectives, being: (1) to evaluate the statistical quality of the present or *baseline* climate (1961-2005) projected by the climatic models for the location of five meteorological stations with observed data (annual total precipitation, annual maximum daily precipitation, annual maximum daily temperature, average temperature Annual, annual minimum daily temperature and annual relative humidity), being: Araguaína, Pedro Afonso, Peixe, Porto Nacional and Taguatinga; (2) mapping of simulated climatic changes for the State of Tocantins by the climatic models Eta-HadGEM2-ES and Eta-MIROC5 in RCPs 4.5 and 8.5, in the dry and rainy periods, for the intervals from 2007 to 2040 and 2041 to 2070, covering the following variables: precipitation, real evapotranspiration, maximum temperature, average temperature, minimum temperature and relative humidity. The results showed the need to perform to remove systematic errors of the climatic models previously to the use of future projections. Regarding the simulation of the present climate, the Eta-MIROC5 model obtained better performance for the annual total precipitation and annual relative humidity, while the Eta-HadGEM2-ES model obtained better performance for temperature (daily maximum annual, annual average and minimum daily Yearly). In the future climatic simulation, both models presented more severe prognoses for RCP 8.5 in the second evaluated future period (2041 to 2070) for the state of Tocantins. The projections of the Eta-HadGEM2-ES model showed a higher degree of severity for precipitation, temperature (maximum, average and minimum), actual evapotranspiration and relative humidity when compared to Eta-MIROC5 projections. The Eta-HadGEM2-ES model projected for the period from 2041 to 2070 (RCP 8.5) an increase in the mean temperature up to 4.9 ° C, whereas for the same period and CPR simulated by Eta-MIROC5 the projected increase was 2, 9 ° C. Also for this period and CPR the simulated reductions for precipitation reached 462.1 and 383.1 mm, by the Eta-HadGEM2-ES and Eta-MIROC5 models, respectively. Were simulated regions of the state with more severe climate changes. The Center-South region, near the Peixe / Angical HPP for the rainfall regime and the Southern region of

the Bananal Island and the APA of the Meandros of the Araguaia river for the temperature, stands out.

Keywords: Cerrado; climactic simulate; management of natural resources; models evaluation

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL.....	11
2	QUALIDADE ESTATÍSTICA DO CLIMA PRESENTE SIMULADO PELOS MODELOS CLIMÁTICOS ETA-HADGEM2-ES E ETA-MIROC5 PARA O ESTADO DO TOCANTINS	13
2.1	INTRODUÇÃO	15
2.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	17
2.2.1	<i>Caracterização da região de estudo</i>	<i>17</i>
2.2.2	<i>Base de dados.....</i>	<i>19</i>
2.2.3	<i>Modelos climáticos.....</i>	<i>23</i>
2.2.4	<i>Avaliação da qualidade das projeções climáticas.....</i>	<i>24</i>
2.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
2.4	CONCLUSÕES.....	40
2.5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41
3	MUDANÇAS CLIMÁTICAS FUTURAS SIMULADAS PELOS MODELOS ETA-HADGEM2-ES E ETA-MIROC5 PARA O ESTADO DO TOCANTINS NOS RCPS 4.5 E 8.5	47
3.1	INTRODUÇÃO	49
3.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	52
3.2.1	<i>Caracterização da área de estudo</i>	<i>52</i>
3.2.2	<i>Projeções climáticas.....</i>	<i>52</i>
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
3.4	CONCLUSÕES.....	83
3.5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	90
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	91

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: CÓDIGO, LATITUDE, LONGITUDE, ALTITUDE E PERÍODO DE DADOS PARA CADA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA CONVENCIONAL DO INMET UTILIZADA	20
TABELA 2: INTERVALO DE CLASSIFICAÇÃO DOS RESULTADOS PARA P_{BIAS}	25
TABELA 3: INTERVALO DE CLASSIFICAÇÃO PARA EMPA	25
TABELA 4: PERCENTAGEM DE VIÉS (P_{BIAS}) E ERRO MÉDIO PERCENTUAL ABSOLUTO (EMPA), PARA PRECIPITAÇÃO TOTAL ANUAL SIMULADA PELOS MODELOS ETA-HADGEM2-ES E ETA-MIROC5 PARA O CLIMA PRESENTE, NO ESTADO DO TOCANTINS.	26
TABELA 5: PERCENTAGEM DE VIÉS (P_{BIAS}) E ERRO MÉDIO PERCENTUAL ABSOLUTO (EMPA), PARA PRECIPITAÇÃO MÁXIMA DIÁRIA ANUAL SIMULADA PELOS MODELOS ETA-HADGEM2-ES E ETA-MIROC5 PARA O CLIMA PRESENTE, NO ESTADO DO TOCANTINS	28
TABELA 6: PERCENTAGEM DE VIÉS (P_{BIAS}) E ERRO MÉDIO PERCENTUAL ABSOLUTO (EMPA), PARA TEMPERATURA MÁXIMA DIÁRIA ANUAL SIMULADA PELOS MODELOS ETA-HADGEM2-ES E ETA-MIROC5 PARA O CLIMA PRESENTE, NO ESTADO DO TOCANTINS	30
TABELA 7: PERCENTAGEM DE VIÉS (P_{BIAS}) E ERRO MÉDIO PERCENTUAL ABSOLUTO (EMPA), PARA TEMPERATURA MÉDIA DIÁRIA ANUAL SIMULADA PELOS MODELOS ETA-HADGEM2-ES E ETA-MIROC5 PARA O CLIMA PRESENTE, NO ESTADO DO TOCANTINS	32
TABELA 8: PERCENTAGEM DE VIÉS (P_{BIAS}) E ERRO MÉDIO PERCENTUAL ABSOLUTO (EMPA), PARA TEMPERATURA MÍNIMA DIÁRIA ANUAL SIMULADA PELOS MODELOS ETA-HADGEM2-ES E ETA-MIROC5 PARA O CLIMA PRESENTE, NO ESTADO DO TOCANTINS	34
TABELA 9: PERCENTAGEM DE VIÉS (P_{BIAS}) E ERRO MÉDIO PERCENTUAL ABSOLUTO (EMPA), PARA UMIDADE RELATIVA ANUAL SIMULADA PELOS MODELOS ETA-HADGEM2-ES E ETA-MIROC5 PARA O CLIMA PRESENTE, NO ESTADO DO TOCANTINS	36
TABELA 10: VALORES DAS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS SIMULADAS PELOS MODELOS REGIONAIS ETA-HADGEM2-ES E ETA-MIROC5 E PELOS DADOS OBTIDOS DO ATLAS DO TOCANTINS PARA AS REGIÕES NORTE, CENTRAL E SUL DO ESTADO DO TOCANTINS.....	38
TABELA 11: MUDANÇAS CLIMÁTICAS ESTRATIFICADAS POR REGIÃO NOS PERÍODOS CLIMÁTICOS FUTUROS (2007 A 2040 E 2041 A 2070) E RCPs 4.5 E 8.5 PARA O ESTADO DO TOCANTINS	80

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: LOCALIZAÇÃO DO ESTADO DO TOCANTINS NO TERRITÓRIO BRASILEIRO DESTACANDO OS BIOMAS E DIVISAS	18
FIGURA 2: REGIONALIZAÇÃO CLIMÁTICA DE THORNTHWAITE PARA O ESTADO DO TOCANTINS (FONTE: SOUSA, 2016).....	19
FIGURA 3: GRID COM RESOLUÇÃO DE 20 KM E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS CONVENCIONAIS UTILIZADOS NO PRESENTE ESTUDO (INMET, 2016)	20
FIGURA 4: DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS CONVENCIONAIS CLASSIFICADAS POR REGIÃO (A), PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL (B) E TEMPERATURA MÉDIA ANUAL DO AR (C) (SEPLAN, 2012).....	22
FIGURA 5: PRECIPITAÇÃO ANUAL E MÉDIA DOS DADOS OBSERVADOS E SIMULADOS PELOS MODELOS ETA-HADGEM2-ES E ETA-MIROC5 PARA O CLIMA PRESENTE, NO ESTADO DO TOCANTINS	27
FIGURA 6: PRECIPITAÇÃO MÁXIMA DIÁRIA ANUAL E MÉDIA OBSERVADA E SIMULADA PELOS MODELOS ETA-HADGEM2-ES E ETA-MIROC5 PARA O CLIMA PRESENTE, NO ESTADO DO TOCANTINS	29
FIGURA 7: TEMPERATURA MÁXIMA ANUAL E MÉDIA DOS DADOS OBSERVADOS E SIMULADOS PELOS MODELOS ETA-HADGEM2-ES E ETA-MIROC5 PARA O CLIMA PRESENTE, NO ESTADO DO TOCANTINS.....	32
FIGURA 8: TEMPERATURA MÉDIA ANUAL E MÉDIA OBSERVADA E SIMULADA PELOS MODELOS ETA-HADGEM2-ES E ETA-MIROC5 PARA O CLIMA PRESENTE, NO ESTADO DO TOCANTINS	34
FIGURA 9: TEMPERATURA MÍNIMA ANUAL E MÉDIA DOS DADOS OBSERVADOS E SIMULADOS PELOS MODELOS ETA-HADGEM2-ES E ETA-MIROC5 PARA O CLIMA PRESENTE, NO ESTADO DO TOCANTINS.....	36
FIGURA 10: UMIDADE RELATIVA ANUAL E MÉDIA DOS DADOS OBSERVADOS E SIMULADOS PELOS MODELOS ETA-HADGEM2-ES E ETA-MIROC5 PARA O CLIMA PRESENTE, NO ESTADO DO TOCANTINS	38
FIGURA 11: LOCALIZAÇÃO DO ESTADO DO TOCANTINS NO TERRITÓRIO BRASILEIRO DESTACANDO OS BIOMAS E DIVISAS (A); REGIONALIZAÇÃO CLIMÁTICA DE THORNTHWAITE E MATHER PARA O ESTADO DO TOCANTINS (B) (SOUSA, 2016).	52
FIGURA 12: CARACTERIZAÇÃO DO ESTADO DO TOCANTINS SEPARADOS POR REGIÃO	55
FIGURA 13: PRECIPITAÇÃO SIMULADA, EM MM, PARA O CLIMA PRESENTE (A) E MUDANÇAS CLIMÁTICAS PROJETADAS PARA O PERÍODO CHUVOSO (OUTUBRO A MARÇO) NO RCP 4.5 ENTRE 2007 E 2040 (B) E 2041 E 2070 (C), E NO RCP 8.5 ENTRE 2007 E 2040 (D) E 2041 E 2070 (E), PELOS MODELOS ETA-MIROC5 E ETA-HADGEM2-ES.....	56
FIGURA 14: PRECIPITAÇÃO SIMULADA, EM MM, PARA O CLIMA PRESENTE (A) E MUDANÇAS CLIMÁTICAS PROJETADAS PARA O PERÍODO SECO (ABRIL A SETEMBRO) NO RCP 4.5 ENTRE 2007 E 2040 (B) E 2041 E 2070 (C), E NO RCP 8.5 ENTRE 2007 E 2040 (D) E 2041 A 2070 (E) PELOS MODELOS ETA-MIROC5 E ETA-HADGEM2-ES.....	59
FIGURA 15: EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL ACUMULADA, EM MM, PARA O CLIMA PRESENTE (A) E MUDANÇAS CLIMÁTICAS PROJETADAS PARA O PERÍODO CHUVOSO (OUTUBRO A MARÇO) NO RCP 4.5 ENTRE 2007 E 2040 (B) E 2041 E 2070 (C), E NO RCP 8.5 ENTRE 2007 E 2040 (D) E 2041 E 2070 (E) PELOS MODELOS ETA-MIROC5 E ETA-HADGEM2-ES.	61
FIGURA 16: EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL ACUMULADA, EM MM, PARA O CLIMA PRESENTE (A) E MUDANÇAS CLIMÁTICAS PROJETADAS PARA O PERÍODO SECO (ABRIL A SETEMBRO) NO RCP 4.5 ENTRE 2007 E 2040 (B) E 2041 E 2070 (C), E NO RCP 8.5 ENTRE 2007 E 2040 (D) E 2041 E 2070 (E) PELOS MODELOS ETA-MIROC5 E ETA-HADGEM2-ES.....	63
FIGURA 17: TEMPERATURA MÉDIA, EM °C, SIMULADA PARA O CLIMA PRESENTE (A) E MUDANÇAS CLIMÁTICAS PROJETADAS PARA O PERÍODO CHUVOSO (OUTUBRO A MARÇO) NO RCP 4.5 ENTRE 2007 E 2040 (B) E 2041 E 2070 (C), E NO RCP 8.5 ENTRE 2007 E 2040 (D) E 2041 E 2070 (E) PELOS MODELOS ETA-MIROC5 E ETA-HADGEM2-ES.....	65
FIGURA 18: TEMPERATURA MÉDIA, EM °C, SIMULADA PARA O CLIMA PRESENTE (A) E MUDANÇAS CLIMÁTICAS PROJETADAS PARA O PERÍODO SECO (ABRIL A SETEMBRO) NO RCP 4.5 ENTRE 2007 E 2040 (B) E 2041 E 2070 (C), E NO RCP 8.5 ENTRE 2007 E 2040 (D) E 2041 E 2070 (E) PELOS MODELOS ETA-MIROC5 E ETA-HADGEM2-ES.....	67
FIGURA 19: TEMPERATURA MÁXIMA, EM °C, SIMULADA PARA O CLIMA PRESENTE (A) E MUDANÇAS CLIMÁTICAS PROJETADAS PARA O PERÍODO CHUVOSO (OUTUBRO A MARÇO) NO RCP 4.5 ENTRE 2007 E 2040 (B) E 2041 E 2070 (C), E NO RCP 8.5 ENTRE 2007 E 2040 (D) E 2041 E 2070 (E) PELOS MODELOS ETA-MIROC5 E ETA-HADGEM2-ES.....	69
FIGURA 20: TEMPERATURA MÁXIMA, EM °C, SIMULADA PARA O CLIMA PRESENTE (A) E MUDANÇAS CLIMÁTICAS PROJETADAS PARA O PERÍODO SECO (ABRIL A SETEMBRO) NO RCP 4.5 ENTRE 2007 E 2040 (B) E 2041 E 2070 (C), E NO RCP 8.5 ENTRE 2007 E 2040 (D) E 2041 E 2070 (E) PELOS MODELOS ETA-MIROC5 E ETA-HADGEM2-ES.....	71
FIGURA 21: TEMPERATURA MÍNIMA, EM °C, SIMULADA PARA O CLIMA PRESENTE (A) E MUDANÇAS CLIMÁTICAS PROJETADAS PARA O PERÍODO CHUVOSO (OUTUBRO A MARÇO) NO RCP 4.5 ENTRE 2007 E 2040 (B) E 2041 E 2070 (C), E NO RCP 8.5 ENTRE 2007 E 2040 (D) E 2041 E 2070 (E) PELOS MODELOS ETA-MIROC5 E ETA-HADGEM2-ES.....	73
FIGURA 22: TEMPERATURA MÍNIMA, EM °C, SIMULADA PARA O CLIMA PRESENTE (A) E MUDANÇAS CLIMÁTICAS PROJETADAS PARA O PERÍODO SECO (ABRIL A SETEMBRO) NO RCP 4.5 ENTRE 2007 E 2040 (B) E 2041 E 2070 (C), E NO RCP 8.5 ENTRE 2007 E 2040 (D) E 2041 E 2070 (E) PELOS MODELOS ETA-MIROC5 E ETA-HADGEM2-ES.....	75

FIGURA 23: UMIDADE RELATIVA, EM %, SIMULADA PARA O CLIMA PRESENTE (A) E MUDANÇAS CLIMÁTICAS PROJETADAS PARA O PERÍODO CHUVOSO (OUTUBRO A MARÇO) NO RCP 4.5 ENTRE 2007 E 2040 (B) E 2041 E 2070 (C), E NO RCP 8.5 ENTRE 2007 E 2040 (D) E 2041 E 2070 (E) PELOS MODELOS ETA-MIROC5 E ETA-HADGEM2-ES.....	77
FIGURA 24: UMIDADE RELATIVA, EM %, SIMULADA PARA O CLIMA PRESENTE (A) E MUDANÇAS CLIMÁTICAS PROJETADAS PARA O PERÍODO SECO (ABRIL A SETEMBRO) NO RCP 4.5 ENTRE 2007 E 2040 (B) E 2041 E 2070 (C), E NO RCP 8.5 ENTRE 2007 E 2040 (D) E 2041 E 2070 (E) PELOS MODELOS ETA-MIROC5 E ETA-HADGEM2-ES.....	79

1 INTRODUÇÃO GERAL

O Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro, ocupando uma área de 2.047.000 km², correspondendo a 24% do território nacional, incidindo sobre os Estados da Bahia, Goiás, Maranhão, Mato Grosso, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Paraná, Piauí, Rondônia, São Paulo, Tocantins e Distrito Federal (IBGE, 2004). Este bioma ocupa 91% do território tocantinense, e o restante é ocupado pelo bioma Amazônia (9%) (IBGE, 2004). No extremo norte do Estado ocorre as áreas de transição de biomas, proporcionando diferentes tipologias de vegetação nesta região (SEPLAN, 2013). Segundo Silva et al. (2008), esta região de ecótonos apresentam influência do clima na biodiversidade do Cerrado brasileiro. Nas extremidades dos rios Araguaia e Tocantins, são encontrados pequenos trechos do bioma Mata Atlântica. Mais de 50% do Estado é considerado área de preservação, destacando o Parque Nacional do Cantão e a Ilha do Bananal (IBGE, 2016).

Segundo Evangelista (2016), o Cerrado é caracterizado por apresentar uma vegetação influente na sazonalidade, além de demonstrar deficiência na preservação da diversidade biológica, no qual possui apenas 7,44% da sua área superficial efetivamente protegida por unidade de conservação (MMA, 2011), onde segundo Siqueira e Peterson (2003), alguns cenários de mudanças do clima simulam diminuições de aproximadamente 50% na distribuição de diversas espécies arbóreas desse bioma.

Segundo o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), ao longo do último século, o acúmulo de Gases do Efeito Estufa (GEEs) têm sido uma ameaça para a diversidade biológica no Cerrado, uma vez que as mudanças climáticas produzem impactos mesmo em regiões com poucas ações antrópicas (IPCC, 2013). Os modelos climáticos regionais (RCMs) e globais (GCMs) têm sido aplicados em vários estudos do comportamento de eventos extremos climáticos sob condições de mudanças climáticas. Segundo Chou et al. (2014a; 2014b), estes modelos têm sido a principal ferramenta em projeções futuras e variedades climáticas.

De acordo com Collins et al. (2011), o modelo HadGEM2-ES apresenta altitude em torno de 40 km, com resolução de aproximadamente 1,9 e 1,3° de longitude e latitude, respectivamente. Já o MIROC5 apresenta resolução de 150 km na horizontal e 40 km na vertical. O modelo Eta (MESINGER et al., 1988) vêm sido

aplicados em estudos de adaptação, impactos e vulnerabilidade no Brasil e na América do Sul (CHOU et al., 2012).

O Tocantins está localizado na região Norte do Brasil entre os paralelos 5° e 13° de latitude Sul, e entre os meridianos 45° e 50° de longitude Oeste, possuindo uma área com cerca de 277.621 km², estando inseridos 139 municípios neste Estado (IBGE, 2004). A dinâmica climática no Tocantins tem sido utilizada por meio da avaliação de modelos climáticos, uma vez que subsidiam o planejamento e organização das atividades agrícolas, bem como no suporte a órgãos estaduais.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar os cenários climáticos futuros simulados pelos modelos climáticos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 para o Estado do Tocantins, sendo subdividido em dois capítulos com objetivos específicos: (1) avaliar a qualidade estatística do clima presente ou *baseline* (1961-2005) projetado pelos modelos climáticos para a localização de cinco estações meteorológicas que dispõe de dados observados (precipitação total anual, precipitação máxima diária anual, temperatura máxima diária anual, temperatura média anual, temperatura mínima diária anual e umidade relativa anual), sendo: Araguaína, Pedro Afonso, Peixe, Porto Nacional e Taguatinga; (2) mapeamento das mudanças climáticas simuladas para o Estado do Tocantins pelos modelos climáticos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 nos RCPs 4.5 e 8.5, nos períodos seco e chuvoso, para os intervalos de 2007 a 2040 e 2041 a 2070, abrangendo as seguintes variáveis: precipitação, evapotranspiração real, temperatura máxima, temperatura média, temperatura mínima e umidade relativa.

2 QUALIDADE ESTATÍSTICA DO CLIMA PRESENTE SIMULADO PELOS MODELOS CLIMÁTICOS ETA-HADGEM2-ES E ETA-MIROC5 PARA O ESTADO DO TOCANTINS

RESUMO

Projeções climáticas constituem-se como importantes ferramentas para o planejamento e gestão hidroclimatológica. Especialmente para o caso do Brasil, que tem sua matriz energética centrada na hidroeletricidade, a estruturação de modelos climáticos visando o prognóstico de possíveis impactos futuros é essencial para o planejamento energético de médio prazo. Tais projeções são produzidas em macro escala por Modelos Climáticos Globais (GCMs) e trazidas para a escala local pelos Modelos de Regionalização ou *Downscaling*. Contudo, previamente à utilização de projeções climáticas futuras para planejamento e gestão, torna-se necessário avaliar a qualidade dos resultados produzidos pelos modelos climáticos. Isto pode ser feito para o clima presente, o qual dispõe de séries meteorológicas observadas para validação dos resultados simulados pelo modelo, e que geralmente tem sido conduzido entre 1961 e 2005. Nesse contexto objetivou-se avaliar a qualidade estatística das simulações climáticas geradas pelos modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 para o Estado do Tocantins. Para isto foram selecionadas cinco estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) inseridas no Estado do Tocantins. A qualidade da simulação foi avaliada pela quantificação do Bias (P_{BIAS}) e do Erro Médio Percentual Absoluto (EMPA), tendo sido analisadas as seguintes variáveis: precipitação total anual, precipitação máxima diária anual, temperatura máxima diária anual, temperatura média anual, temperatura mínima diária anual e umidade relativa anual. A análise dos resultados mostrou que o modelo climático Eta-MIROC5 apresentou melhor qualidade estatística para a simulação da precipitação total anual e umidade relativa anual, enquanto que o modelo Eta-HadGEM2-ES obteve melhores projeções para a temperatura máxima anual, temperatura média anual e temperatura mínima anual. A magnitude do P_{BIAS} permitiu concluir sobre a necessidade de aplicação de metodologias para a correção dos erros sistemáticos previamente à utilização das projeções futuras geradas pelos modelos em estudo.

Palavras-chave: Cerrado; erros sistemáticos; avaliação de modelos

STATISTICAL QUALITY OF CLIMATE PRESENT SIMULATED BY THE CLIMATE MODELS ETA-HADGEM2-ES AND ETA-MIROC5 FOR THE STATE OF TOCANTINS

ABSTRACT

Climatic projections are important tools for hydroclimatologic planning and management. Especially for the case of Brazil, that has your energetic matrix centered on hydroelectricity, the structuring of climatic models aiming the prognosis of possible future impacts is essential for the medium-term energy planning. Such projections are produced on scale macro per Global Climate Models (GCMs) and brought to the local scale of Regionalization or *Downscaling* Models. However, previously to the utilization of future climate projections for planning and management, it is necessary to evaluate the quality of the results produced by the climate models. This can be done for the

present climate, which has observed meteorological series to validation the results simulated by the model, and which has generally it has been conducted between 1961 and 2005. In this context, the objective was to evaluate the statistical quality of the climate simulations generated by the models Eta-HadGEM2-ES and Eta-MIROC5 for the State of Tocantins. For this, five meteorological stations of the National Institute of Meteorology (INMET), inserted in the State of Tocantins, were selected. The quality of the simulation was evaluated by the quantification of the Bias (P_{BIAS}) and the Mean Absolute Percentage Error (EMPA), having been analyzed the following variables: annual total precipitation, annual daily maximum precipitation, annual daily maximum temperature, annual average temperature, annual daily minimum temperature and annual relative humidity. The analysis of the results showed that the climatic model Eta-MIROC5 presented better statistical quality for the simulation of the annual total precipitation and annual relative humidity, while the Eta-HadGEM2-ES model obtained better projections for annual maximum temperature, annual average temperature and minimum annual temperature. The magnitude of the P_{BIAS} allowed to conclude on the need to apply methodologies to correction systematic errors previously to the utilization of future projections generated by the models in study.

Keywords: Cerrado; systematic erros; models evaluation

2.1 INTRODUÇÃO

O bioma Cerrado corresponde a 24% da superfície terrestre brasileira, estando neste localizadas as nascentes de três grandes bacias hidrográficas da América do Sul: São Francisco, Prata e Tocantins-Araguaia (IBGE, 2004). Este bioma ocupa uma área de 252.634 km² do território tocantinense, representando 91% da área do Estado, e o restante (9%) é ocupado pelo bioma Amazônia, sendo caracterizado por florestas Ombrófila Aberta, Ombrófila Densa, Estacional Decidual e Semidecidual (IBGE, 2004; SILVA, 2007). Além disso, são encontrados na região do “Bico-do-Papagaio” as áreas de transição entre biomas, os chamados ecótonos, que são locais que apresentam tipologias vegetais de regiões fitoecológicas diversificadas, o que proporciona competição pelo mesmo ambiente fisiográfico (SEPLAN, 2013). Essas regiões de tensão ecológica apresentam alta influência climática na diversidade biológica do Cerrado, bem como na produção e organização do espaço geográfico (SILVA et al., 2008). O Cerrado apresenta grande riqueza biológica e elevado grau de endemismo (MYERS et al., 2000). De acordo com Melo (2013), a biodiversidade desse bioma não se manifesta apenas na variedade de espécies, mas também na diversidade genética (variabilidade na diversidade de subespécies) e ecossistêmica (variedade de habitats e comunidades bióticas). Entretanto é considerado um dos biomas que apresenta maior número de espécies ameaçadas de extinção, se encontrando entre os 34 *hotspots* mundiais para a preservação da biodiversidade (MYERS et al., 2000; MITTERMEIER et al., 2005).

Segundo o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), a aceleração do aquecimento global em decorrência da emissão de Gases do Efeito Estufa (GEEs) para a atmosfera tem aumentado desde a metade do século XX, sendo ocasionado por atividade antropogênica (IPCC, 2007). Os principais GEEs originados de procedimentos antrópicos incluem o gás metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂) e óxido nitroso (N₂O) (NOBRE, 2001; IPCC, 2013).

De acordo com Dias (2014), outra preocupação sobre mudanças climáticas concerne aos eventos climáticos extremos, que estão relacionando aos fenômenos *El Niño* e *La Niña*, podendo ser considerados os principais responsáveis pela ocorrência de extremos climáticos. Esses dois padrões, respectivamente, referem-se a um aquecimento e esfriamento anormal das águas da superfície da região do Oceano Pacífico equatorial. As mudanças climáticas podem provocar impactos significativos

nos setores sociais, econômicos e naturais, bem como os eventos de temperatura e precipitação extremas, podendo afetar significativamente no conforto humano, turismo e consumo de energia (QIAN e LIN, 2005; SANTOS et al., 2009).

De acordo com Hallegatte e Mach (2016), considerando as atividades antrópicas e os efeitos naturais, o objetivo a longo prazo dos acordos internacionais é limitar a emissão de GEEs para prevenir um aquecimento global ainda maior no futuro. De acordo com IPCC (2007) resultados de modelagens climáticas globais foram de aumento da temperatura entre 1,8 e 4 °C até o final do século XXI. Contudo, as projeções de mudanças climáticas não se restringem ao aumento da temperatura, tendo sido projetadas alterações importantes para a precipitação, umidade do ar, etc.

O Quinto Relatório de Avaliação (AR5) trouxe evoluções nos Modelos de Circulação Global (GCMs), quando comparado com o Quarto Relatório de Avaliação (AR4), visto que os modelos passaram a incorporar os ciclos do enxofre, carbono e ozônio, conferindo maior confiabilidade (FLATO et al., 2013). Os GCMs são importantes ferramentas computacionais capazes de fornecer informações das mudanças climáticas globais, ou seja, simulam o comportamento dos processos químicos e físicos na atmosfera, além de interagir com componentes de outros sistemas (CHOU et al., 2014b). Os modelos climáticos globais e regionais têm sido utilizados como a principal ferramenta científica para simulações futuras e avaliação da variabilidade do clima, uma vez que conseguem representar as interações entre a atmosfera, superfície terrestre e oceano (CHOU et al., 2014a; MELLO et al., 2015). O modelo global HadGEM2-ES (COLLINS et al., 2011), apresenta resolução equivalente a 1,875° de longitude e 1,275° de latitude, com altitude podendo chegar até 40 km. O MIROC5, por sua vez, apresenta resolução de 150 km na horizontal e 40 níveis na vertical (CHOU et al., 2014a; 2014b). Visando incorporar efeitos locais do relevo, detalhar a grade de simulação, dentre outros, são acoplados modelos de regionalização ou *downscaling* aos MCGs. O modelo regional Eta (MESINGER et al., 1988) vêm sendo aplicado em estudos de vulnerabilidade, adaptação e impactos no Brasil e no continente Sul-americano (CHOU et al., 2012). Atualmente é utilizado na previsão do tempo do CPTEC/INPE (CHOU et al., 2000), e foi utilizado na América do Sul em estudos de previsão, em diferentes escalas de tempo (CHOU et al., 2005; BUSTAMANTE et al., 2006; CHOU et al., 2014a).

A avaliação dos impactos decorrentes de possíveis mudanças climáticas requer um planejamento visando um futuro distante (PELLEGRINO; ASSAD; MARIN,

2007), sendo que, grande parte dos estudos recentes exploram projeções para até o final do século XXI. Contudo, previamente à utilização das projeções dos modelos climáticos torna-se necessário avaliar a presença de erros sistemáticos (CHOU et al., 2014a; 2014b) e proceder sua correção quando necessário (TEUTSCHBEIN e SEIBERT, 2012).

O estado do Tocantins apresenta 50,25% da sua superfície área com grande potencial para agricultura, despontando atualmente como o “novo polo agrícola do Brasil” (SEAGRO, 2017). Na pecuária, o Tocantins tem como principal atividade econômica a criação de bovinos de corte, se destacando por apresentar um dos maiores rebanhos do país, ocupando atualmente a 7ª posição no ranking nacional de bovinos em confinamentos (SEAGRO, 2017), no qual confere ao bioma Cerrado destaque nacional no cenário econômico (BRASIL, 2012). De acordo com Lima (2013), o desenvolvimento das atividades socioeconômicas (pecuária, agricultura, turismo e geração de energia), são diretamente dependentes dos elementos climáticos. Dessa forma, a avaliação dos modelos climáticos no Tocantins é uma importante ferramenta para compreender a dinâmica climática em escala local, bem como o aquecimento global, que é decorrente das alterações do clima.

Nesse contexto, objetivou-se avaliar a qualidade estatística do clima presente (1961-2005) simulado pelos modelos climáticos regionais Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 para o Estado do Tocantins, a partir de dados observados em cinco estações meteorológicas convencionais do INMET, sendo: Araguaína, Pedro Afonso, Peixe, Porto Nacional e Taguatinga.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Caracterização da região de estudo

A área de estudo corresponde ao Estado do Tocantins, estando localizado entre os paralelos 5°10'06" e 13°27'59" de latitude Sul, e entre os meridianos 45°44'46" e 50°44'33" de longitude Oeste, com área de 277.621 km², representando 3,26% da área do território nacional e 7,17% da região Norte (SEPLAN, 2012). O Tocantins faz divisa com os Estados da Bahia, Goiás, Maranhão, Mato Grosso, Pará e Piauí. A figura 1 apresenta a inserção do Estado do Tocantins no território brasileiro e os biomas ali presentes.

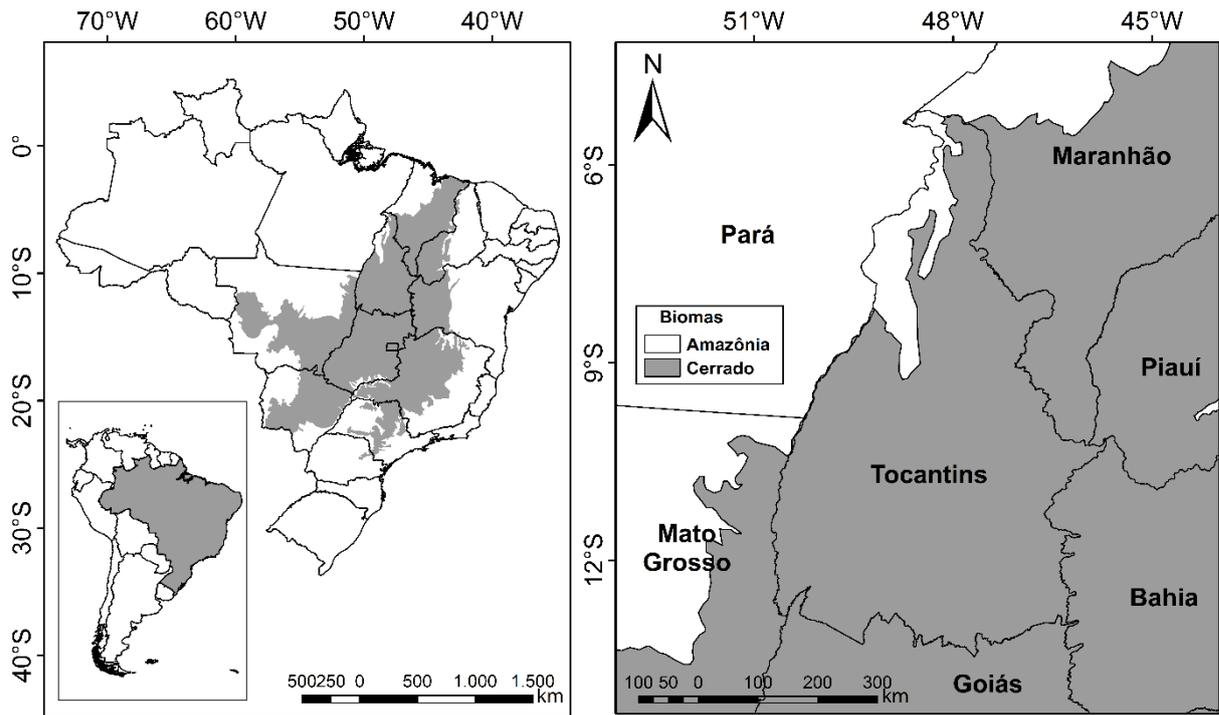


Figura 1: Localização do Estado do Tocantins no território brasileiro destacando os biomas e divisas

Segundo SEPLAN (2012), a precipitação média anual no Estado varia entre 1.300 e 2.100 mm. De acordo com Sousa (2016), as três regiões climáticas homogêneas que ocorrem no Tocantins pela classificação climática de Thornthwaite são: a) C1s2A'a' (clima subúmido seco, com grande excesso de água no verão, megatérmico); b) C2wA'a' (clima subúmido, com deficiência de água moderada no inverno, megatérmico) e c) B1wA'a' (clima úmido, com deficiência de água moderada no inverno, megatérmico) (Figura 2).

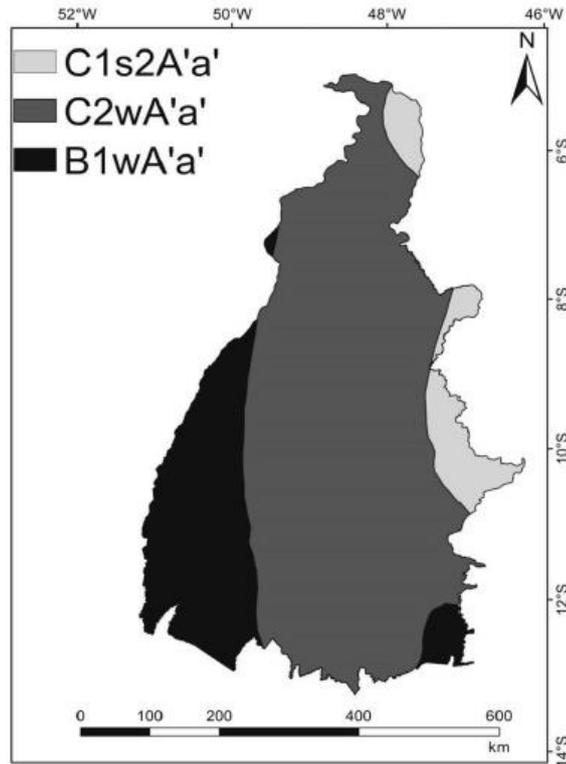


Figura 2: Regionalização climática de Thornthwaite para o Estado do Tocantins (Fonte: SOUSA, 2016).

De acordo com levantamento realizado pela Secretaria de Planejamento e da Modernização da Gestão Pública do Estado do Tocantins – SEPLAN, o Estado apresenta diversidade de classes de solo, destacando-se principalmente os plintossolo, latossolo, neossolo quartzarênico, cambissolo e argissolo. Apresenta altitude variando entre 200 e 1.200 m (SEPLAN, 2012).

2.2.2 Base de dados

Os dados meteorológicos observados utilizados no presente estudo são provenientes da rede de estações meteorológicas convencionais do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizadas em cinco municípios tocantinenses, sendo: Araguaína, Pedro Afonso, Peixe, Porto Nacional e Taguatinga. Na tabela 1 são apresentados código, latitude, longitude e altitude, bem como o período de dados disponível para cada estação. Foram selecionadas séries históricas diárias de precipitação, umidade relativa, temperaturas máxima, mínima e média do período de 1961 a 2005, quando disponível (Tabela 1). A partir das séries históricas diárias foram estruturadas séries de precipitação total anual, precipitação máxima diária anual,

temperatura máxima diária anual, temperatura média anual, temperatura mínima diária anual e umidade relativa média anual, para posterior análise estatística (P_{BIAS} : percentagem de viés e EMPA: erro médio percentual absoluto) dos dados. Na figura 3 consta a distribuição espacial das estações meteorológicas utilizadas, bem como o grid com resolução espacial de 20 km, conforme apresenta o modelo Eta, resultando em 572 pontos no Estado do Tocantins.

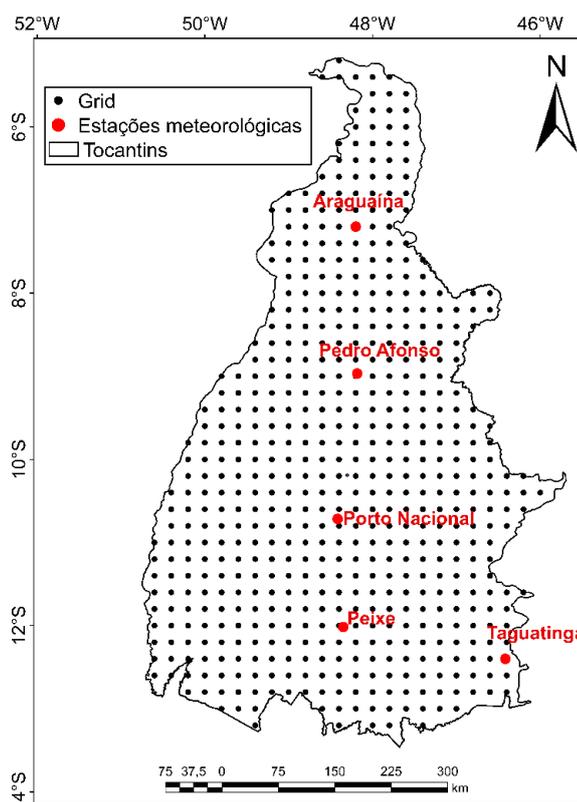


Figura 3: Grid com resolução de 20 km e distribuição espacial das estações meteorológicas convencionais utilizados no presente estudo (INMET, 2016)

Tabela 1: Código, latitude, longitude, altitude e período de dados para cada estação meteorológica convencional do INMET utilizada

Código	Estações	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)	Período (Anos)
82659	Araguaína	-7,20	-48,20	228,5	1985-2005
82863	Pedro Afonso	-8,96	-48,18	187,0	1978-2005
83228	Peixe	-12,01	-48,35	242,5	1976-2005
83064	Porto Nacional	-10,71	-48,41	239,2	1961-2005
83235	Taguatinga	-12,40	-46,41	603,6	1962-2005

Fonte: INMET (2016)

Em uma última análise, as mudanças climáticas foram estratificadas por região, sendo: Norte (Araguaína), Centro (Pedro Afonso e Porto Nacional) e Sul (Peixe

e Taguatinga), conforme está apresentado na figura 4a. Nessa abordagem objetivou-se sintetizar os resultados da simulação climática obtidos pelos dois modelos regionais, em cada uma das três regiões. Outro objetivo refere-se à comparação dos resultados simulados pelos modelos climáticos para o clima presente com os mapas anuais de precipitação média e temperatura média do ar do Atlas do Tocantins (Figuras 4b e 4c, respectivamente) disponibilizados pela Secretaria de Planejamento do Estado do Tocantins (SEPLAN, 2012). Procedeu-se comparando os valores médios simulados para a localização das estações meteorológicas do INMET, com aqueles mapeados no Atlas do Tocantins para estas mesmas localizações.

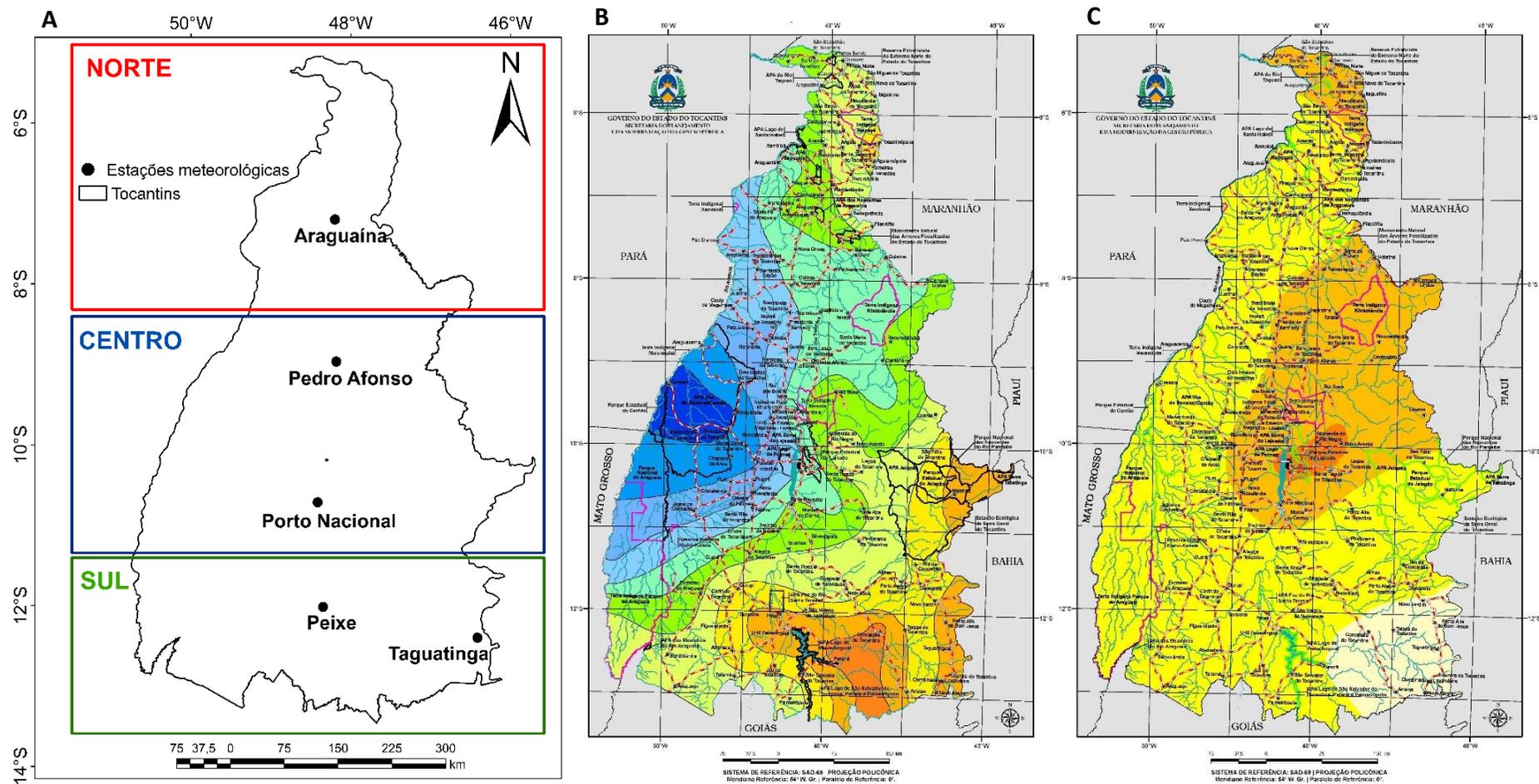


Figura 4: Distribuição espacial das estações meteorológicas convencionais classificadas por região (A), precipitação média anual (B) e temperatura média anual do ar (C) (SEPLAN, 2012)

2.2.3 Modelos climáticos

No presente estudo foram utilizadas projeções climáticas disponibilizadas por Chou et al. (2014a; 2014b), produzidas pelos modelos HadGEM2-ES e MIROC5, com *downscaling* pelo modelo regional Eta, sendo então designados por Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5.

O modelo global HadGEM2-ES (*Hadley Centre Global Environmental Model version 2 Earth System*) (COLLINS et al., 2011; MARTIN et al., 2011) é um modelo em ponto de grade com resolução N96, equivalente a 1,875 e 1,275 graus de longitude e latitude, respectivamente, e 38 níveis verticais na atmosfera, chegando a cerca de 40 km de altitude. Sobre o oceano, apresenta 40 níveis na orientação vertical, sendo que, a resolução pode variar de 1/3 de grau nos trópicos a 1 grau em latitudes maiores que 30°. O HadGEM2-ES foi aplicado pelo *Met Office Hadley Centre* nas simulações do *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5)* (IPCC, 2013), que utiliza dados históricos de 1960 a 2005 e projeções através dos chamados RCPs (*Representative Concentration Pathways*) (MOSS et al., 2010).

O *Model for Interdisciplinary Research on Climate (MIROC5)* (WATANABE et al., 2010), por sua vez, foi desenvolvido em conjunto pelo *National Institute of Environmental Studies (NIES)*, *Center for Climate System Research (CCSR)* e *Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC)*, sendo essa versão utilizada no Quinto Relatório de Avaliação (AR5) do *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* (IPCC, 2013).

O modelo climático regional (RCM) que produziu os dados utilizados neste trabalho foi o Eta. O modelo Eta foi desenvolvido na Universidade de Belgrado, e é empregado operacionalmente pelo *National Centers for Environmental Prediction (NCEP)* (BLACK, 1994; MESINGER et al., 2012). No Brasil o modelo Eta vem sendo aplicado pelo CPTEC/INPE (Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) para previsão do tempo e estudos sobre cenários exploratórios de mudanças climáticas futuras em diferentes escalas de tempo e resoluções espaciais (CHOU; BUSTAMANTE; GOMES, 2005; CHOU et al., 2014a).

O modelo Eta (BLACK, 1994; MESINGER, 1984) é um modelo em ponto de grade baseado na coordenada vertical n (Equação 1), sendo todas as variáveis tomadas a partir de uma atmosfera de referência. Os dados utilizados no presente

estudo foram gerados com resolução de 20 km na horizontal e 38 camadas na vertical, com o topo do modelo estando a 25 hPa (CHOU et al., 2014a; 2014b).

$$n = \frac{(p_r(z_s) - p_t)}{(p_r(z=0) - p_t)} \quad (1)$$

em que:

Z – altura geométrica;

p_t – pressão no topo do modelo;

$p_r(z=0)$ – pressão do nível médio do mar (1013 hPa);

$p_r(z_s)$ – pressão atmosférica padrão para o nível de terreno do modelo z_s .

Os dados climáticos diários simulados pelos modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 utilizados no presente estudo referem-se a séries do período chamado de clima presente ou “*baseline*”, que se estende de 1961 a 2005. Ressalta-se que não foi definido um período de 30 anos (1961-1990), em razão da baixa disponibilidade de dados observados nas estações meteorológicas convencionais.

2.2.4 Avaliação da qualidade das projeções climáticas

O desempenho dos modelos climáticos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 foi avaliado pela comparação de variáveis simuladas para o clima presente com dados observados nas estações meteorológicas do INMET para o mesmo período. Para cada estação meteorológica, selecionou-se o ponto do grid de simulação mais próximo para proceder a validação. Na avaliação da precisão dos modelos climáticos foram empregadas as seguintes estatísticas: percentagem de viés (P_{BIAS}) e erro médio percentual absoluto (EMPA).

O P_{BIAS} (Equação 2) é o percentual de viés. O valor ideal para o P_{BIAS} é zero. Valores negativos indicam superestimativa, enquanto que os valores positivos indicam subestimativa dos dados gerados pelo modelo (GUPTA; SOROOSHIAN; YAPO, 1999). Na tabela 2 pode ser verificado o intervalo de classificação do P_{BIAS} proposto por Van Liew et al. (2007):

$$P_{BIAS} = \left[\frac{\sum Obs_i - Est_i}{\sum Obs_i} \right] 100 \quad (2)$$

em que:

P_{BIAS} - Percentagem de viés;

Est_i – valor estimado da variável para o ponto i ;

Obs_i – valor observado da variável para o ponto i .

Tabela 2: Intervalo de classificação dos resultados para P_{BIAS}

Referência	Classificação
$ P_{BIAS} < 10\%$	Muito bom
$10\% \leq P_{BIAS} < 15\%$	Bom
$15\% \leq P_{BIAS} < 25\%$	Satisfatório
$ P_{BIAS} \geq 25\%$	Insatisfatório

Fonte: Van Liew et al. (2007)

O erro médio percentual absoluto (EMPA) é uma estatística de precisão bastante difundida. De acordo com Lopes (2002), o EMPA (Equação 3) desconsidera o sinal do erro por considerar o seu módulo. Assim esta estatística de precisão calcula a média de todos os erros percentuais absolutos, impedindo que o erro seja diminuído através da soma de valores com sinais opostos. Na tabela 3 pode ser verificado o intervalo de classificação para o EMPA conforme Lewis (1997):

$$EMPA = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{Obs_i - Est_i}{Obs_i} \right| 100 \quad (3)$$

em que:

EMPA – é o erro médio percentual absoluto;

n – números de dados em análise.

Tabela 3: Intervalo de classificação para EMPA

Referência	Classificação
$EMPA < 10\%$	Muito bom
$10\% \leq EMPA < 20\%$	Bom
$20\% \leq EMPA < 30\%$	Razoável
$EMPA \geq 30\%$	Impreciso

Fonte: Lewis (1997)

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 4 podem ser observados os resultados obtidos para a Percentagem de viés (P_{BIAS}) e Erro médio percentual absoluto (EMPA), para precipitação total anual simulada pelos modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 para o clima presente.

Tabela 4: Percentagem de viés (P_{BIAS}) e Erro médio percentual absoluto (EMPA), para precipitação total anual simulada pelos modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 para o clima presente, no Estado do Tocantins.

Estação	Modelo	P_{BIAS}	EMPA
Araguaína	Eta-HadGEM2-ES	35,1	33,5
	Eta-MIROC5	30,1	29,2
Pedro Afonso	Eta-HadGEM2-ES	28,1	31,1
	Eta-MIROC5	14,9	24,6
Peixe	Eta-HadGEM2-ES	22,1	28,4
	Eta-MIROC5	5,5	21,1
Porto Nacional	Eta-HadGEM2-ES	28,9	30,0
	Eta-MIROC5	-3,0	27,9
Taguatinga	Eta-HadGEM2-ES	41,8	39,5
	Eta-MIROC5	13,1	29,1
Média	Eta-HadGEM2-ES	31,2	32,5
	Eta-MIROC5	12,1	26,4

De maneira geral, analisando os resultados do P_{BIAS} observou-se tendência de subestimativa da precipitação por ambos os modelos climáticos, com exceção da estação de Porto Nacional para o modelo Eta-MIROC5, para o qual obteve-se superestimativa de 3%. Analisando-se especificamente o modelo Eta-MIROC5, observou-se que o P_{BIAS} das estações de Peixe e Porto Nacional apresenta valores abaixo de 10%, sendo classificado como “muito bom”. Ainda com base no P_{BIAS} , observou-se para as estações de Pedro Afonso (14,9%) e Taguatinga (13,1%), resultados classificados como “bom”. Já para o modelo climático Eta-HadGEM2-ES, o melhor resultado do P_{BIAS} foi obtido para a estação de Peixe (22,1%), que recebe a classificação “satisfatório”. Os demais resultados apresentaram valores de P_{BIAS} acima de 25%, sendo assim considerados “insatisfatórios”. A estação de Araguaína em ambos os modelos, com série histórica de 21 anos, apresentou alto erro de P_{BIAS} em razão da baixa disponibilidade de dados observados. Optou-se por não excluir Araguaína devido ser a única estação localizada na região Norte do Estado do Tocantins. Baseado nos dados estimados para P_{BIAS} e na classificação de Van Liew

et al. (2007), observa-se que o modelo Eta-MIROC5 é o que apresenta melhor simulação de precipitação total anual para o Estado do Tocantins. Em termos médios, para as cinco localidades analisadas no Estado do Tocantins, a subestimativa é de 12,1 e 31,2% para os modelos Eta-MIROC5 e Eta-HadGEM2-ES, respectivamente.

Em relação ao EMPA verificam-se resultados imprecisos ($EMPA > 30\%$) do modelo Eta-HadGEM2-ES para as estações de Araguaína, Pedro Afonso e Taguatinga. As demais estações apresentaram EMPA variando de 21,1 a 30%, sendo classificados como “razoável” na escala proposta por Lewis (1997). Baseado nos resultados médios do EMPA para as estações meteorológicas, o erro médio absoluto é de 32,5 e 26,4% para os modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5, respectivamente. Dessa forma, com base no EMPA, novamente constata-se que o Eta-MIROC5 se sobressaiu perante o Eta-HadGEM2-ES para simulação da precipitação total anual para o Tocantins. Diante dos resultados obtidos, recomenda-se para estudos futuros a análise da frequência de fenômenos ENSO (*El Niño e La Niña*) simulada pelos modelos climáticos. Chou et al. (2014a), em suas análises sobre a precipitação para a América do Sul, mostraram que nos períodos seco e chuvoso, o modelo Eta-MIROC5 foi o que apresentou melhores simulações climáticas para a região em que o Estado do Tocantins se encontra.

Na figura 5 pode ser observada a distribuição temporal dos dados observados e simulados (Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5) de precipitação total anual para a localização das 5 estações meteorológicas.

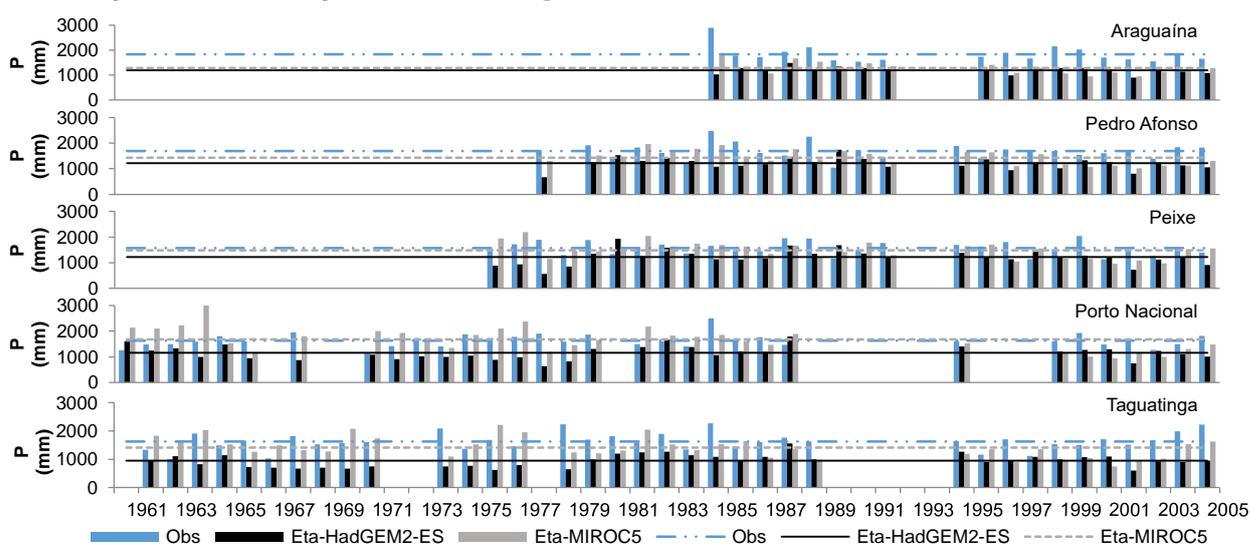


Figura 5: Precipitação anual e média dos dados observados e simulados pelos modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 para o clima presente, no Estado do Tocantins

O ano de 1985 apresentou a maior precipitação média observada dentre as 5 estações meteorológicas em análise. Para este ano, a estação com maior precipitação observada foi Araguaína, com 2.893,2 mm. Para esta situação os modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 simularam valores de 1.025,1 e 1.876,2 mm, respectivamente. Já no ano de 1963, observou-se a menor lâmina precipitada, que se deu na estação de Taguatinga, com 1.005,5 mm. Para esta situação os modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 simularam valores de 1.107,7 mm e 1.659,1 mm, respectivamente. Tais resultados mostram que as estimativas de precipitação anual apresentam alto grau de enviesamento, e que assim, é importante a aplicação de uma metodologia de remoção dos erros sistemáticos dos modelos previamente à utilização dos cenários climáticos futuros.

Na tabela 5 podem ser observados os resultados obtidos para a Percentagem de viés (P_{BIAS}) e Erro médio percentual absoluto (EMPA), para precipitação máxima diária anual, simulada pelos modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5, para o clima presente.

Tabela 5: Percentagem de viés (P_{BIAS}) e Erro médio percentual absoluto (EMPA), para precipitação máxima diária anual simulada pelos modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 para o clima presente, no Estado do Tocantins

Estação	Modelo	P_{BIAS}	EMPA
Araguaína	Eta-HadGEM2-ES	61,8	59,7
	Eta-MIROC5	60,8	58,3
Pedro Afonso	Eta-HadGEM2-ES	53,4	52,6
	Eta-MIROC5	50,1	47,7
Peixe	Eta-HadGEM2-ES	42,4	41,4
	Eta-MIROC5	45,7	41,9
Porto Nacional	Eta-HadGEM2-ES	48,6	46,9
	Eta-MIROC5	40,2	38,4
Taguatinga	Eta-HadGEM2-ES	53,5	50,7
	Eta-MIROC5	50,9	47,4
Média	Eta-HadGEM2-ES	51,9	50,3
	Eta-MIROC5	49,5	46,7

Com base nos resultados do P_{BIAS} , verificou-se uma acentuada tendência de subestimativa da precipitação máxima diária anual para os modelos climáticos em estudo. Todas as estações meteorológicas apresentaram resultados de P_{BIAS} superiores a 25%, sendo classificados como “insatisfatórios”. Ainda com base no P_{BIAS} , a análise específica do modelo Eta-HadGEM2-ES, constatou que a estação de

Peixe foi a que apresentou o melhor resultado (42,4%). Já para o modelo climático Eta-MIROC5, o melhor resultado de P_{BIAS} foi obtido para a estação de Porto Nacional (40,2%). Em termos médios, para as cinco estações meteorológicas analisadas, a subestimativa é de 49,5 e 51,9% para os modelos Eta-MIROC5 e Eta-HadGEM2-ES, respectivamente.

No que se refere ao EMPA, verificou-se que a média para as cinco localidades foi de 50,3 e 46,7% para os modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5, respectivamente. O melhor resultado foi obtido nas estações de Peixe e Porto Nacional para os modelos climáticos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5, respectivamente.

Na figura 6 pode ser observada a distribuição temporal dos dados observados e simulados (Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5) de precipitação máxima diária anual para a localização das 5 estações meteorológicas.

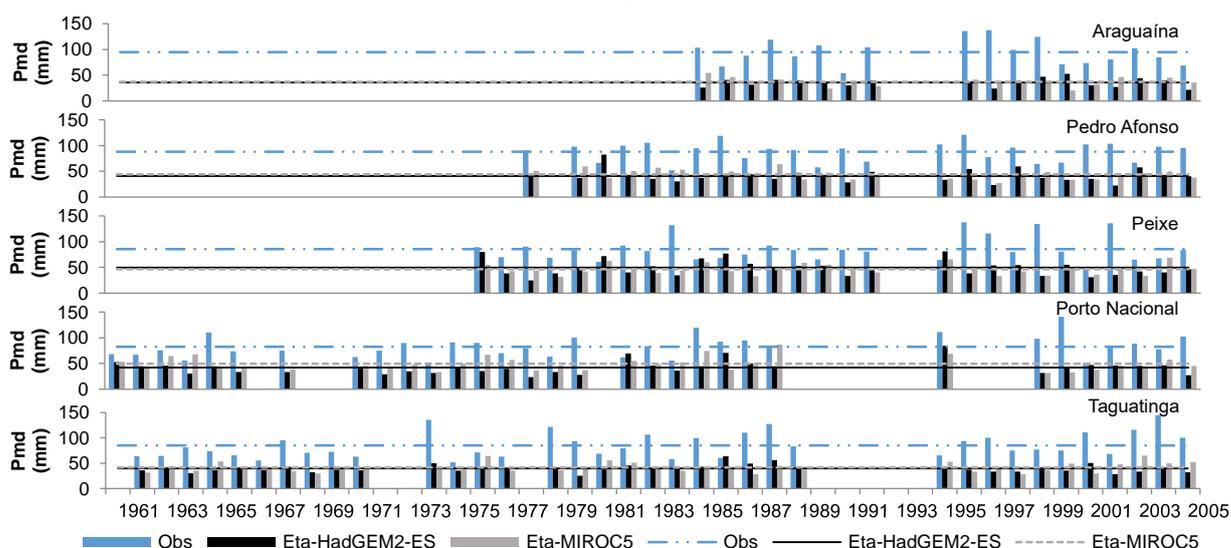


Figura 6: Precipitação máxima diária anual e média observada e simulada pelos modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 para o clima presente, no Estado do Tocantins

A maior precipitação máxima diária anual foi observada na estação meteorológica de Taguatinga ($144,8 \text{ mm dia}^{-1}$ no ano de 2004). Para esta situação os modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 simularam valores de $39,8$ e $49,8 \text{ mm dia}^{-1}$, respectivamente. No outro extremo, a menor precipitação máxima diária anual observada foi na estação de Peixe, no ano de 2001, sendo de $47,1 \text{ mm dia}^{-1}$. Para este ano e estação, os modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 simularam valores de $31,0$ e $35,8 \text{ mm dia}^{-1}$, respectivamente. Nota-se também pela figura 5, que no caso

da média da precipitação máxima diária anual, os valores simulados por ambos os modelos são bastante próximos e substancialmente menores que os valores médios observados. Tal constatação é importante e indica que estudos futuros deverão avaliar também a necessidade de correção da frequência dos valores extremos simulados pelos modelos climáticos.

Na tabela 6 podem ser observados os resultados obtidos para a Percentagem de viés (P_{BIAS}) e Erro médio percentual absoluto (EMPA), para temperatura máxima diária anual, simulada pelos modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5, para o clima presente.

Tabela 6: Percentagem de viés (P_{BIAS}) e Erro médio percentual absoluto (EMPA), para temperatura máxima diária anual simulada pelos modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 para o clima presente, no Estado do Tocantins

Estação	Modelo	P_{BIAS}	EMPA
Araguaína	Eta-HadGEM2-ES	4,0	4,0
	Eta-MIROC5	7,6	7,6
Pedro Afonso	Eta-HadGEM2-ES	0,9	3,1
	Eta-MIROC5	6,5	6,4
Peixe	Eta-HadGEM2-ES	2,0	3,5
	Eta-MIROC5	9,4	9,4
Porto Nacional	Eta-HadGEM2-ES	3,8	4,4
	Eta-MIROC5	11,0	11,0
Taguatinga	Eta-HadGEM2-ES	9,5	9,5
	Eta-MIROC5	17,9	17,8
Média	Eta-HadGEM2-ES	4,0	4,9
	Eta-MIROC5	10,5	10,4

Analisando de forma geral os resultados para o P_{BIAS} , notou-se uma tendência de subestimativa da temperatura máxima diária anual para os modelos climáticos avaliados. Quanto a análise específica do modelo climático Eta-HadGEM2-ES, verificou-se que todas as estações apresentaram P_{BIAS} inferior a 10%, sendo assim classificados como “muito bom”, destacando a estação de Pedro Afonso que obteve o melhor resultado, de 0,9%. Já para o modelo Eta-MIROC5, a estação de Porto Nacional apresentou P_{BIAS} de 11,0%, sendo classificado como “bom”, enquanto que para Taguatinga (17,9%) o resultado foi “satisfatório”. As demais estações apresentaram P_{BIAS} abaixo de 10%, sendo assim considerados “muito bom”, evidenciando a estação de Pedro Afonso (6,5%), que apresentou menor viés para esse modelo.

Em termos médios, para as cinco estações analisadas no Estado do Tocantins, a subestimativa é de 10,5% para o modelo Eta-MIROC5, sendo classificado como “bom”, enquanto que para o modelo Eta-HadGEM2-ES a subestimativa foi de 4,0%, recebendo a classificação “muito bom”. Chou et al. (2014a), analisando o ciclo anual da temperatura para os modelos Eta-HadGEM2-ES, Eta-BESM e Eta-MIROC5 nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Sul do território brasileiro, constataram subestimativa das projeções climáticas em todas as áreas avaliadas, corroborando com os resultados obtidos no presente estudo.

Já com relação ao EMPA das projeções do Eta-HadGEM2-ES, verifica-se que as estações em estudo apresentam erro médio absoluto menor que 10%, sendo classificados como “muito bom”. Já para o modelo Eta-MIROC5, os resultados foram classificados como “bom” nas estações de Porto Nacional e Taguatinga. As demais estações obtiveram erro médio percentual absoluto classificados como “muito bom”, conforme a escala proposta por Lewis (1997). Ressalta-se ainda, que a estação de Pedro Afonso obteve o melhor resultado para o EMPA para ambos modelos climáticos.

Em termos médios o EMPA foi de 4,9 e 10,4% para os modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5, respectivamente. Dessa maneira, baseado nas estatísticas aplicadas, constata-se que o modelo climático Eta-HadGEM2-ES apresenta a melhor simulação de temperatura máxima diária anual para o clima presente no Estado do Tocantins.

Na figura 7 pode ser observada a distribuição temporal da temperatura máxima anual observada e simulada (Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5) para a localização das 5 estações meteorológicas.

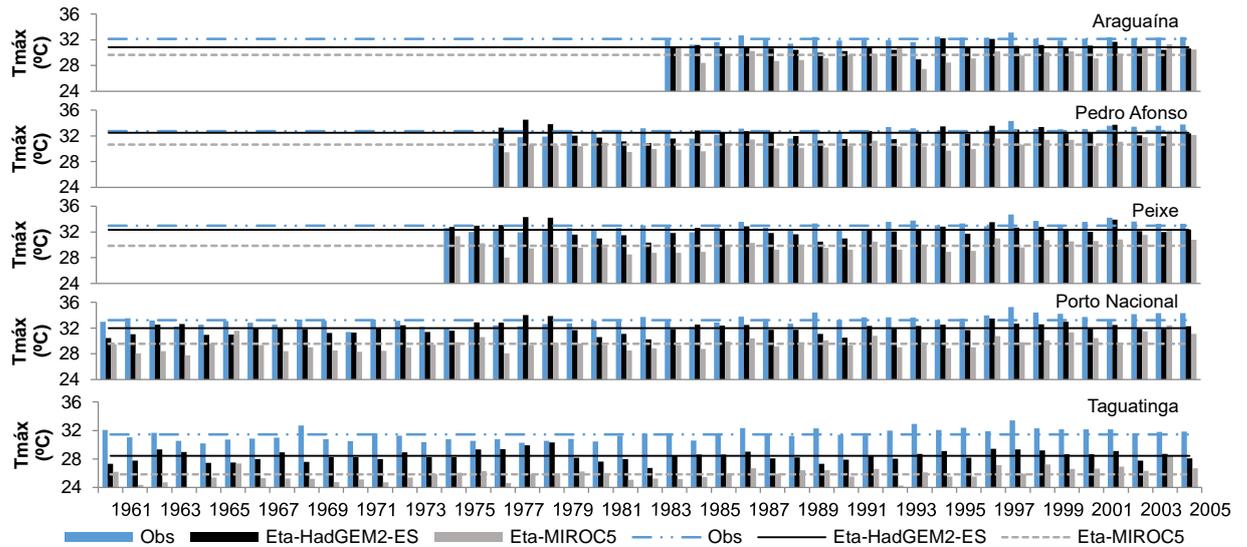


Figura 7: Temperatura máxima anual e média dos dados observados e simulados pelos modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 para o clima presente, no Estado do Tocantins

O ano de 1998 apresentou a maior temperatura máxima anual observada dentre as 5 estações meteorológicas em análise. Para este ano, a estação com maior temperatura máxima observada foi Porto Nacional, com 35,2 °C. Para esta situação os modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 simularam valores de 32,7 e 29,8 °C, respectivamente. Já no ano de 1965, observou-se a menor temperatura máxima na estação de Taguatinga, com 30,2 °C. Para esta situação os modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 simularam valores de 27,4 e 25,4 °C, respectivamente.

Na tabela 7 podem ser observados os resultados obtidos para a Percentagem de viés (P_{BIAS}) e Erro médio percentual absoluto (EMPA), para temperatura média anual simulada pelos modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5, para o clima presente.

Tabela 7: Percentagem de viés (P_{BIAS}) e Erro médio percentual absoluto (EMPA), para temperatura média diária anual simulada pelos modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 para o clima presente, no Estado do Tocantins

Estação	Modelo	P_{BIAS}	EMPA
Araguaína	Eta-HadGEM2-ES	-3,5	3,6
	Eta-MIROC5	2,0	2,6
Pedro Afonso	Eta-HadGEM2-ES	-3,5	3,6
	Eta-MIROC5	2,8	2,8

(continua...)

Tabela 7: Percentagem de viés (PBIAS) e Erro médio percentual absoluto (EMPA), para temperatura média diária anual simulada pelos modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 para o clima presente, no Estado do Tocantins (continuação)

Estação	Modelo	P_{BIAS}	EMPA
Peixe	Eta-HadGEM2-ES	-2,6	3,2
	Eta-MIROC5	5,4	5,7
Porto Nacional	Eta-HadGEM2-ES	-1,2	2,6
	Eta-MIROC5	6,5	6,6
Taguatinga	Eta-HadGEM2-ES	7,9	7,8
	Eta-MIROC5	16,5	16,5
Média	Eta-HadGEM2-ES	-0,6	4,2
	Eta-MIROC5	6,6	6,8

Para o modelo Eta-HadGEM2-ES, avaliando-se os resultados de P_{BIAS} constata-se superestimativa da temperatura média diária anual, exceto para a estação de Taguatinga (7,9%). Por outro lado, para o Eta-MIROC5 obteve-se subestimativa para todas as estações avaliadas. Em termos médios para as cinco estações meteorológicas analisadas, a subestimativa é 6,6% pelo Eta-MIROC5, enquanto que para o Eta-HadGEM2-ES, obteve-se superestimativa de 0,6%. Analisando-se especificamente o modelo climático Eta-HadGEM2-ES, observa-se que todas as estações apresentaram P_{BIAS} inferior a 10%, que recebe a classificação “muito bom”, destacando a estação de Araguaína e Pedro Afonso que obtiveram melhores resultados (-3,5%). Já para o modelo Eta-MIROC5, a estação de Taguatinga apresentou P_{BIAS} de 16,5%, sendo classificado como “satisfatório”. Os demais resultados foram abaixo de 10%, sendo considerados “muito bom”.

No que diz respeito ao EMPA, analisando a média dos modelos, verificam-se erros médios de 4,2 e 6,8% para o Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5, respectivamente. Destaca-se que ambos os modelos receberam a classificação “muito bom”, exceto para a estação de Taguatinga para o modelo Eta-MIROC5 (16,5%), considerado “bom”. Esse resultado isolado com a estação de Taguatinga pode estar relacionado com a sua altitude, que é de 603,6 m, tendo-se em vista que as demais estações se encontram em altitudes inferiores a 280 m. Com base nestes resultados, o modelo Eta-HadGEM2-ES apresentou melhor acurácia da simulação para a precipitação média anual no Tocantins.

Na figura 8 pode ser observada a distribuição temporal da temperatura média anual observada e simulada (Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5) para a localização das 5 estações meteorológicas.

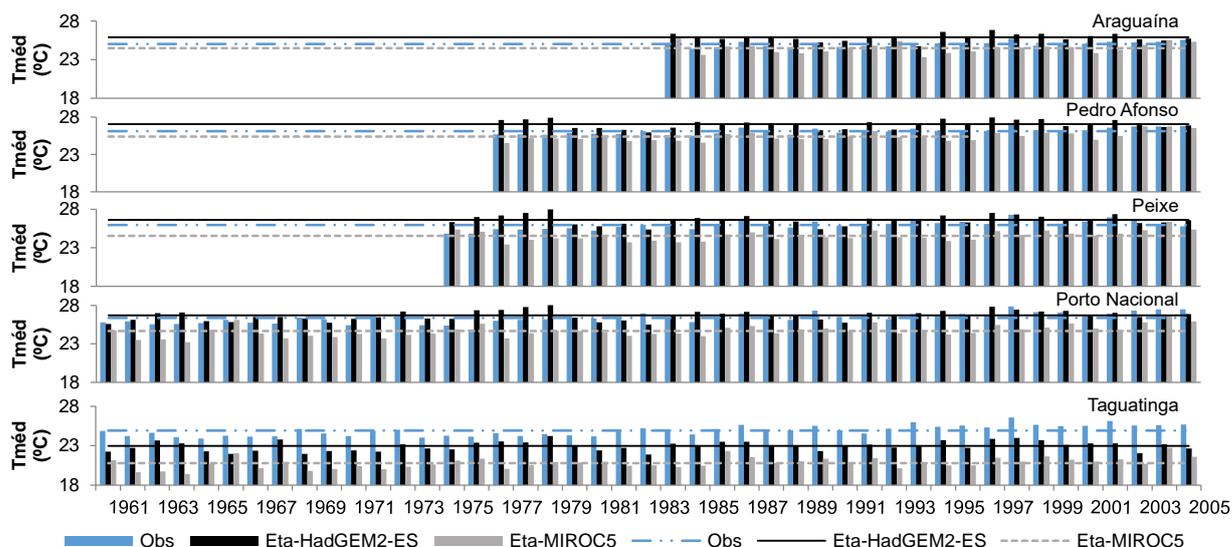


Figura 8: Temperatura média anual e média observada e simulada pelos modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 para o clima presente, no Estado do Tocantins

O ano de 1998 apresentou a maior temperatura média anual observada dentre as 5 estações meteorológicas em análise. Para este ano, a estação com maior temperatura média observada foi Porto Nacional, com 27,9 °C. Para esta situação os modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 simularam valores de 27,4 e 24,9 °C, respectivamente. Já no ano de 1965, observou-se a menor temperatura média na estação de Taguatinga, com 23,9 °C. Para esta situação os modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 simularam valores de 22,3 e 20,7 °C, respectivamente.

Na tabela 8 constam a Percentagem de viés (P_{BIAS}) e o Erro médio percentual absoluto (EMPA), para a temperatura mínima diária anual simulada pelos modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5, para o clima presente.

Tabela 8: Percentagem de viés (P_{BIAS}) e Erro médio percentual absoluto (EMPA), para temperatura mínima diária anual simulada pelos modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 para o clima presente, no Estado do Tocantins

Estação	Modelo	P_{BIAS}	EMPA
Araguaína	Eta-HadGEM2-ES	-3,2	3,6
	Eta-MIROC5	4,7	4,8
Pedro Afonso	Eta-HadGEM2-ES	0,7	2,5
	Eta-MIROC5	7,2	7,2
Peixe	Eta-HadGEM2-ES	1,0	2,6
	Eta-MIROC5	8,0	8,3

(continua...)

Tabela 8: Percentagem de viés (PBIAS) e Erro médio percentual absoluto (EMPA), para temperatura mínima diária anual simulada pelos modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 para o clima presente, no Estado do Tocantins (continuação)

Estação	Modelo	P_{BIAS}	EMPA
Porto Nacional	Eta-HadGEM2-ES	0,7	2,8
	Eta-MIROC5	7,8	7,8
Taguatinga	Eta-HadGEM2-ES	13,3	13,2
	Eta-MIROC5	20,6	20,6
Média	Eta-HadGEM2-ES	2,5	4,9
	Eta-MIROC5	9,7	9,7

Verificam-se subestimativas da temperatura mínima diária anual por ambos os modelos climáticos, exceto para a estação meteorológica de Araguaína pelo modelo Eta-HadGEM2-ES, para a qual foi simulada superestimativa de 3,2%. Para ambos modelos foi obtido viés abaixo de 10% (“muito bom”), com exceção de Taguatinga.

Em termos médios para as cinco localidades analisadas no Estado do Tocantins, a subestimativa é de 9,7% e 2,5% para os modelos Eta-MIROC5 e Eta-HadGEM2-ES, respectivamente. Avaliando o EMPA para a temperatura mínima diária anual, observa-se que os resultados das projeções foram classificados como “muito bom” para ambos os modelos, exceto a estação de Taguatinga, que apresentou EMPA de 13,2% (bom) e 20,6% (razoável) para os modelos climáticos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5, respectivamente. Em termos médios, observam-se erros absolutos de 4,9% (Eta-HadGEM2-ES) e 9,7% (Eta-MIROC5). Os melhores resultados do EMPA foram obtidos nas estações de Pedro Afonso e Araguaína, para os modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5, respectivamente. Dessa forma, analisando os resultados obtidos, observa-se que o modelo Eta-HadGEM2-ES produziu melhores resultados para a temperatura mínima diária anual no clima presente simulado para o Estado do Tocantins.

Na figura 9 pode ser observada a distribuição temporal da temperatura mínima diária anual observada e simulada (Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5) para a localização das 5 estações meteorológicas.

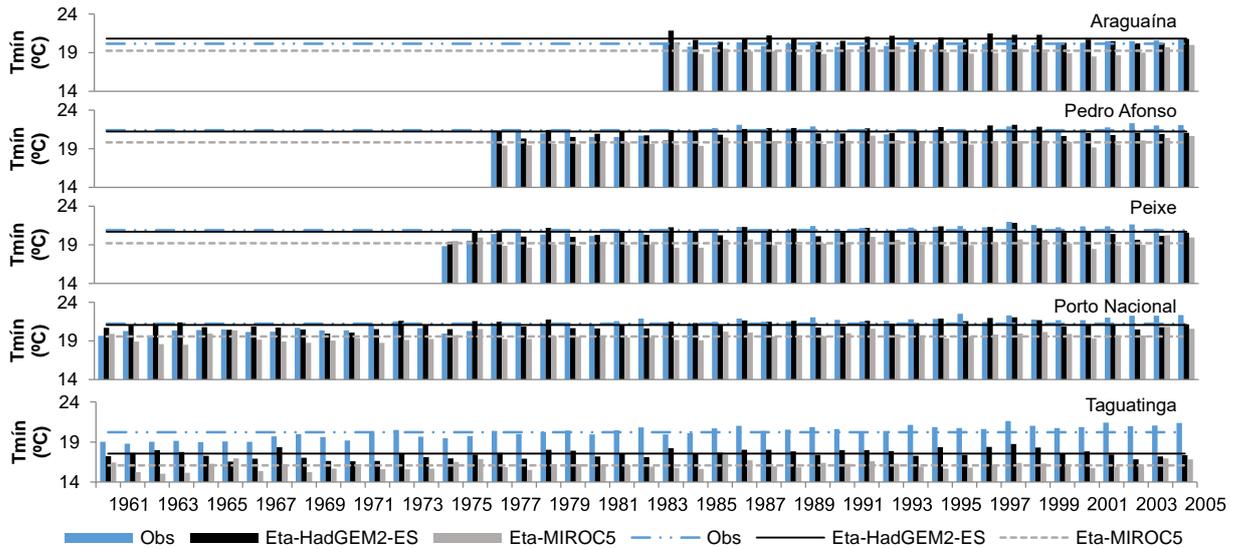


Figura 9: Temperatura mínima anual e média dos dados observados e simulados pelos modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 para o clima presente, no Estado do Tocantins

O ano de 1993 apresentou a maior temperatura mínima anual observada dentre as 5 estações meteorológicas em análise. Para este ano, a estação com maior temperatura mínima observada foi Porto Nacional, com 22,5 °C. Para esta situação os modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 simularam valores de 21,8 e 20,9 °C, respectivamente. Já no ano de 1962, observou-se a menor temperatura mínima na estação de Taguatinga, com 18,8 °C. Para esta situação os modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 simularam valores de 17,6 e 15,2 °C, respectivamente.

Na tabela 9 constam a Percentagem de viés (P_{BIAS}) e o Erro médio percentual absoluto (EMPA) para umidade relativa média anual simulada pelos modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5, para o clima presente.

Tabela 9: Percentagem de viés (P_{BIAS}) e Erro médio percentual absoluto (EMPA), para umidade relativa anual simulada pelos modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 para o clima presente, no Estado do Tocantins

Estação	Modelo	P_{BIAS}	EMPA
Araguaína	Eta-HadGEM2-ES	22,8	22,8
	Eta-MIROC5	24,6	24,6
Pedro Afonso	Eta-HadGEM2-ES	30,5	30,4
	Eta-MIROC5	27,7	27,7
Peixe	Eta-HadGEM2-ES	26,1	26,1
	Eta-MIROC5	17,9	17,9

(continua...)

Tabela 9: Percentagem de viés (PBIAS) e Erro médio percentual absoluto (EMPA), para umidade relativa anual simulada pelos modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 para o clima presente, no Estado do Tocantins (continuação)

Estação	Modelo	P_{BIAS}	EMPA
Porto Nacional	Eta-HadGEM2-ES	24,5	24,4
	Eta-MIROC5	17,3	17,3
Taguatinga	Eta-HadGEM2-ES	21,0	20,8
	Eta-MIROC5	8,9	10,1
Média	Eta-HadGEM2-ES	25,0	24,9
	Eta-MIROC5	19,3	19,5

Analisando os resultados do P_{BIAS} , observa-se tendência de subestimativa da umidade relativa para ambos os modelos climáticos. Os valores médios para as cinco estações foram de 19,3 e 25,0% para os modelos Eta-MIROC5 e Eta-HadGEM2-ES, respectivamente. Analisando-se o modelo Eta-MIROC5, observa-se que a estação de Taguatinga apresenta o menor viés (8,9%), classificado como “muito bom”, enquanto que a estação de Pedro Afonso apresenta o maior (27,7%). Já para o modelo climático Eta-HadGEM2-ES, as projeções para a localização das estações de Pedro Afonso (30,5%) e Peixe (26,1%), foram classificadas como “insatisfatório”. Para a localização das demais estações meteorológicas foram obtidos resultados classificados como “satisfatório”.

Em relação ao EMPA, verificou-se que o modelo Eta-HadGEM2-ES produziu resultados “impreciso” para a localização da estação de Pedro Afonso, enquanto que para as demais localidades os resultados foram classificados como “razoável”. Para o modelo Eta-MIROC5, notou-se que para a localização das estações de Peixe, Porto Nacional e Taguatinga os resultados foram classificados como “bom”; enquanto que as demais localizações analisadas foram classificadas como “razoável”. O melhor resultado para o EMPA foi obtido para a localização da estação de Taguatinga para ambos os modelos. Dessa maneira, baseado nas estatísticas de precisão utilizadas verifica-se que o modelo Eta-MIROC5 é o que apresenta melhor simulação da umidade relativa anual para o clima presente no Estado do Tocantins.

Na figura 10 pode ser observada a distribuição temporal da umidade relativa anual observada e simulada (Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5) para a localização das 5 estações meteorológicas.

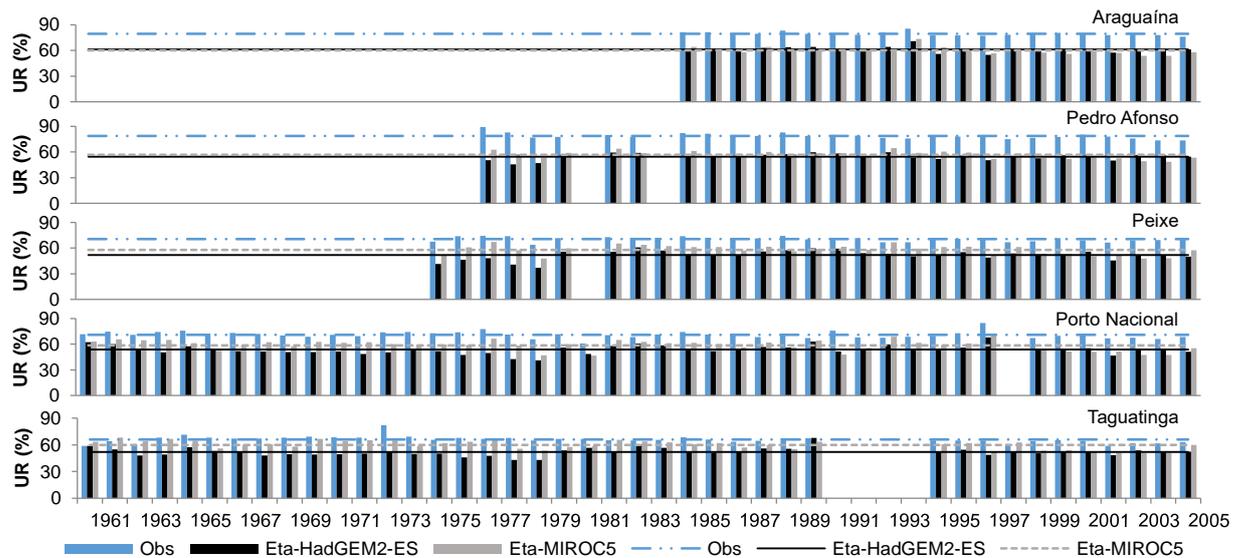


Figura 10: Umidade relativa anual e médio dos dados observados e simulados pelos modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 para o clima presente, no Estado do Tocantins

O ano de 1977 apresentou a maior umidade relativa anual observada dentre as 5 estações meteorológicas em análise. Para este ano, a estação com maior umidade relativa observada foi Pedro Afonso, com 89,1%. Para esta situação os modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 simularam valores de 50,3 e 62,7%, respectivamente. Já no ano de 2002, observou-se a menor umidade relativa na estação de Taguatinga, com 58,7%. Para esta situação os modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 simularam valores de 48,4 e 50,9%, respectivamente.

Na tabela 10 consta o resumo geral dos valores das variáveis climáticas simuladas por região (Norte, Central e Sul) para o clima presente pelos modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 e aqueles obtidos dos mapas anuais de precipitação média e temperatura média do ar do Atlas do Tocantins.

Tabela 10: Valores das variáveis climáticas simuladas pelos modelos regionais Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 e pelos dados obtidos do Atlas do Tocantins para as regiões Norte, Central e Sul do Estado do Tocantins

Região	Variável climática	Dados simulados	Atlas do Tocantins
Norte	Precipitação anual (mm)	898,2 – 1.876,2	1.600 – 1.700
	Precipitação máxima diária anual (mm dia ⁻¹)	20,7 – 54,8	–

(continua...)

Tabela 10: Valores das variáveis climáticas simuladas pelos modelos regionais Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 e pelos dados obtidos do Atlas do Tocantins para as regiões Norte, Central e Sul do Estado do Tocantins (continuação)

Região	Variável climática	Dados simulados	Atlas do Tocantins
Norte	Temperatura máxima anual (°C)	27,4 – 32,2	–
	Temperatura média anual (°C)	23,3 – 26,7	25 – 26
	Temperatura mínima anual (°C)	18,5 – 21,9	–
	Umidade relativa anual (%)	53,6 – 73,4	–
Central	Precipitação anual (mm)	634,8 – 3.105,3	1.600 – 1.700
	Precipitação máxima diária anual (mm dia ⁻¹)	22,1 – 86,7	–
	Temperatura máxima anual (°C)	27,8 – 34,5	–
	Temperatura média anual (°C)	23,2 – 28,0	26 – 27
	Temperatura mínima anual (°C)	18,5 – 22,1	–
	Umidade relativa anual (%)	41,0 – 71,3	–
	Precipitação anual (mm)	568,7 – 2.208,9	1.300 – 1.400
	Precipitação máxima diária anual (mm dia ⁻¹)	24,6 – 81,5	–
Sul	Temperatura máxima anual (°C)	34,0 – 34,3	–
	Temperatura média anual (°C)	19,4 – 28,0	24 – 26
	Temperatura mínima anual (°C)	15,0 – 21,8	–
	Umidade relativa anual (%)	36,9 – 68,2	–

Fonte: Adaptado de SEPLAN (2012)

A região Central do Tocantins apresentou a maior precipitação anual simulada entre as regiões em análise. Para esta região, projetaram-se lâminas variando de 634,8 a 3.105,3 mm ano⁻¹ para o clima presente. De acordo com o Atlas do Tocantins (SEPLAN, 2012), as maiores lâminas também são simuladas na região Central do Tocantins, onde estão localizados o Parque Estadual do Cantão e APA Ilha do Bananal/Cantão; embora os valores do Atlas sejam muito menores quando comparados com os simulados pelos modelos climáticos regionais. Em relação a precipitação máxima diária anual, as lâminas extremas foram simuladas nas regiões Central e Sul, atingindo até 86,7 e 81,5 mm dia⁻¹, respectivamente.

Para a temperatura média anual, os maiores valores simulados foram nas regiões Sul e Central do Estado, com projeções variando de 19,4 a 28 °C e 23,2 a 28 °C, respectivamente. Pelo mapeamento da temperatura média anual do ar disponibilizado no Atlas do Tocantins (SEPLAN, 2012) verifica-se que a região Central

do Tocantins é a que apresenta a maior temperatura média, atingindo até 27 °C na localidade do Parque Estadual do Lajeado.

A maior temperatura máxima anual foi simulada pelos modelos climáticos na região Central do Estado, com 34,5 °C. Ao mesmo tempo que na região Sul do Tocantins é simulada a menor temperatura mínima anual (15 °C).

Para o Estado do Tocantins são projetadas as maiores umidades relativas nas regiões Norte e Central, com 73,4 e 71,3%, respectivamente. Por outro lado, a menor umidade relativa é simulada na região Sul (36,9%) do Estado do Tocantins.

Diversas metodologias de correção de erros sistemáticos têm sido aplicadas em simulações de modelos climáticos globais e/ou regionais, tais como: escalonamento linear, regressão linear múltipla, mapeamento quantil-quantil, transformação potencial, método da mudança de delta, escala de variância, escala de intensidade local (TEUTSCHBEIN e SEIBERT, 2012). Diante dos resultados encontrados, nota-se que é essencial a aplicação da correção dos erros sistemáticos dos modelos climáticos previamente à utilização das simulações futuras. Isto é relevante sobretudo tendo-se em vista que as análises dessas projeções são tidas como ferramentas para a gestão ambiental. Constata-se também a necessidade de realização de estudos posteriores mais aprofundados. Nestes é essencial a análise sazonal das variáveis simuladas pelo modelo climático. Além disto sugere-se que seja realizada a análise da frequência de eventos extremos simulados pelos modelos climáticos, assim como a frequência de fenômenos ENSO (*El Niño e La Niña*).

2.4 CONCLUSÕES

O modelo climático Eta-MIROC5 apresentou melhor desempenho nas projeções de precipitação total anual e umidade relativa anual. O modelo Eta-HadGEM2-ES apresentou melhor qualidade nas simulações de temperatura (máxima, média e mínima). Para a localização da estação de Taguatinga foram encontrados os maiores erros para a simulação de temperatura. Estes erros podem estar diretamente associados com a altitude, uma vez que a estação de Taguatinga apresenta maior altitude em relação as outras estações.

As variáveis climáticas necessitam de correção dos erros sistemáticos previamente à utilização das projeções futuras visando a múltiplos objetivos, sobretudo no planejamento de políticas públicas.

2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BLACK, T. L. The new NMC mesoscale Eta model. Description and forecast examples. **Weather and Forecasting**, v. 9, n. 2, p. 265-278, jun. 1994.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção**. Brasília, DF, v. 1, parte 2, p. 39-155. 2012.

BUSTAMANTE, J.F.; GOMES, J.L.; CHOU, S.C. 5-year Eta Model seasonal forecast climatology over South America. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOUTHERN HEMISPHERE METEOROLOGY AND OCEANOGRAPHY, 8., Foz do Iguaçu (PR). Proceedings... São José dos Campos: INPE, 2006. p. 503-506.

CHOU, S. C.; NUNES, A. M. B.; CAVALCANTI, I. F. A.: Extended range forecasts over South America using the regional Eta Model. **Journal Geophysical Research**, v.105, n. D8, p. 10 147–10 160, 2000.

CHOU, S. C.; BUSTAMANTE, J. F.; GOMES, J. L. Evaluation of Eta model seasonal precipitation forecasts over South America. **Nonlinear Processes in Geophysics**, v. 12, n. 4, p. 537-555, jun. 2005.

CHOU, S. C.; MARENGO, J. A.; LYRA, A. A.; SUEIRO, G.; PESQUERO, J. F.; ALVES, L. M.; KAY, G.; BETTS, R.; CHAGAS, D. J.; GOMES, J. L.; BUSTAMANTE, J. F. TAVARES, P. Downscaling of South America present climate driven by 4-member HadCM3 runs. **Climate Dynamics**, v. 38, n. 3-4, p. 635-653, 2012.

CHOU, S. C.; LYRA, A.; MOURÃO, C.; DEREZYNSKI, C.; PILOTTO, I.; GOMES, J.; BUSTAMANTE, J.; TAVARES, P.; SILVA, A.; RODRIGUES, D.; CAMPOS, D.; SUEIRO, G.; SIQUEIRA, G.; NOBRE, P.; MARENGO, J. Evaluation of the Eta simulations nested in three global climate models. **American Journal of Climate Change**, v. 3, n. 5, p. 438-454, dez. 2014a.

CHOU, S. C.; LYRA, A.; MOURÃO, C.; DEREZYNSKI, C.; PILOTTO, I.; GOMES, J.; BUSTAMANTE, J.; TAVARES, P.; SILVA, A.; RODRIGUES, D.; CAMPOS, D.; CHAGAS, D.; SUEIRO, G.; SIQUEIRA, G. MARENGO, J. Assessment of climate change over South America under RCP 4.5 and 8.5 downscaling scenarios. **American Journal of Climate Change**, v. 3, p. 512-525, dez. 2014b.

COLLINS, W. J.; BELLOUIN, N.; DOUTRIAUX-BOUCHER, M.; GEDNEY, N.; HALLORAN, P.; HINTON, T.; HUGHES, J.; JONES, C. D.; JOSHI, M.; LIDDICOAT, S.; MARTIN, G.; O'CONNOR, F.; RAE, J.; SENIOR, C.; SITCH, S.; TOTTERDELL, I.;

WILTSHIRE, A.; WOODWARD, S. Development and Evaluation of an Earth-System Model-HadGEM2. **Geoscientific Model Development**, v. 4, n. 4, p. 1051-1075, nov. 2011.

DIAS, M. A. F. S. Eventos climáticos extremos. **Revista USP**, n. 103, p. 33-40, 2014.

FLATO, G.; MAROTZKE, J.; ABIODUN, B.; BRACONNOT, P.; CHOU, S. C.; COLLINS, W.; COX, P.; DRIOUECH, F.; EMORI, S.; EYRING, V.; FOREST, C.; GLECKLER, P.; GUILYARDI, E.; JAKOB, C.; KATTSOV, V.; REASON C.; RUMMUKAINEN, M. Evaluation of Climate Models. In: STOCKER, T. F. et al (Ed.). *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, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2013. cap. 9, p.741–866.

GUPTA, H. V.; SOROOSHIAN, S.; YAPO, P. O. Status of automatic calibration for hydrologic models: Comparison with multilevel expert calibration. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 4, n. 2, p.135-143, abr. 1999.

HALLEGATTE, S.; MACH, K. J. Make climate-change assessments more relevant. **Nature**, v. 534, n. 7609, p. 630-655, jun. 2016.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa dos biomas do Brasil**. Escala 1: 5.000.000. 2004. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/biomas2/viewer.htm>>. Acesso em: 23 nov. 2016.

INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Estações convencionais**. 2016. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesConvencionais>> Acesso em: 15 jan. 2016.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. *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 University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013, 1535 p.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.

Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007, 996 p.

LEWIS, C. D. **Demand Forecasting and Inventory Control**. A computer aided learning approach. Woodhead Publishing Ltd, 1997. p. 157.

LIMA, A. M. **Relação clima e vegetação na área das bacias das usinas hidrelétricas de Barra dos Coqueiros e Caçu-GO**. 2013. 89 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Jataí, GO, 2013.

LOPES, R. D. **Previsão de autopeças: Estudo de caso em uma concessionária de veículos**. 2002. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

MARTIN, G. M.; BELLOUIN, N.; COLLINS, W. J.; CULVERWELL, I. D.; HALLORAN, P. R.; HARDIMAN, S. C.; HINTON, T. J.; JONES, C. D.; MCDONALD, R. E.; MCLAREN, A. J.; O'CONNOR, F. M.; ROBERTS, M. J.; RODRIGUEZ, J. M.; WOODWARD, S.; BEST, M. J.; BROOKS, M. E.; BROWN, A. R.; BUTCHART, N.; DEARDEN, C.; DERBYSHIRE, S. H.; DHARSSI, I.; DOUTRIAUX-BOUCHER, M.; EDWARDS, J. M.; FALLOON, P. D.; GEDNEY, N.; GRAY, L. J.; HEWITT, H. T.; HOBSON, M.; HUDDLESTON, M. R.; HUGHES, J.; INESON, S.; INGRAM, W. J.; JAMES, P. M.; JOHNS, T. C.; JOHNSON, C. E.; JONES, A.; JONES, C. P.; JOSHI, M. M.; KEEN, A. B.; LIDDICOAT, S.; LOCK, A. P.; MAIDENS, A. V.; MANNERS, J. C.; MILTON, S. F.; RAE, J. G. L.; RIDLEY, J. K.; SELLAR, A.; SENIOR, C. A.; TOTTERDELL, I. J.; VERHOEF, A.; VIDALE, P. L.; WILTSHIRE A. The HadGEM2 family of Met Office Unified Model climate configurations. **Geoscientific Model Development**, v. 4, n. 3, p. 723-757, set. 2011.

MESINGER, F.; CHOU, S. C.; GOMES, J. L.; JOVIC, D.; BASTOS, P. R.; BUSTAMANTE, J. F.; LAZIC, L.; LYRA, A. A.; MORELLI, S.; RISTIC, I.; VELJOVIC, K. An upgraded version of Eta Model. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v. 116, n. 3, p. 63-79, mai. 2012.

MELO, S. W. C. **Extrativismo vegetal como estratégia de desenvolvimento rural no Cerrado**. 2013. 197 f. Dissertação (Mestrado em Agronegócios) – Universidade de Brasília – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Brasília, DF, 2013.

MELLO, C. R.; ÁVILA, L. F.; VIOLA, M. R.; CURI, N.; DARRELL, N. L. Assessing the climate change impacts on the rainfall erosivity throughout the twenty-first century in the Grande River Basin (GRB) headwaters, Southeastern Brazil. **Environmental Earth Sciences**, v. 73, n. 12, p. 8683-8698, jan. 2015.

MESINGER, F. A blocking technique for representation of mountains in atmospheric models. **Rivista di Meteorologia Aeronautica**, v. 44, p. 195-202, 1984.

MESINGER, F.; JANJIC, Z. I.; NICKOVIC, S.; GAVRILOV, D.; DEAVEN, D. G. The stepmountain coordinate: Model description and performance for cases of Alpine lee cyclogenesis and for a case of Appalachian redevelopment. **Monthly Weather Review**, v. 116; p. 1493-1518, 1988.

MITTERMEIER, R. A.; FONSECA, G. A. B.; RYLANDS, A. B.; BRANDON, K. A brief history of biodiversity conservation in Brazil. **Conservation Biology**, v. 19, n. 3, p. 601-611, jun. 2005.

MOSS, R. H.; EDMONDS, J. A.; HIBBARD, K. A.; MANNING, M. R.; ROSE, S.K.; VAN VUUREN, D. P.; CARTER, T. R.; EMORI, S.; KAINUMA, M.; KRAM, T.; MEEHL, G. A.; MITCHELL, J. F.; NAKICENOVIC, N.; RIAHI, K.; SMITH, S. J.; STOUFFER, R. J.; THOMSON, A. M.; WEYANT, J. P.; WILBANKS, T. J. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. **Nature**, v. 463, n. 7282, p. 747-756, fev. 2010.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853-858, fev. 2000.

NOBRE, C. A. Mudanças climáticas globais: Possíveis impactos nos ecossistemas do País. **Parcerias Estratégicas**, n. 12, p. 239-258, set. 2001.

PELLEGRINO, G. Q.; ASSAD, E. D.; MARIN, F. R. Mudanças climáticas globais e a agricultura no Brasil. **Revista Multiciência**, v. 8, p. 139-162, 2007.

QIAN, W.; LIN, X. Regional trends in recent precipitation indices in China. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v. 90, n. 3-4, p. 193-207, 2005.

SANTOS, C. A. C.; BRITO, J. I. B.; RAO, T. V. R.; MENEZES, H. E. A. Tendências dos índices de precipitação no estado do Ceará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 1, p. 39-47, 2009.

SEAGRO. Secretaria de Estado da Agricultura e Pecuária. **Agricultura e Pecuária**. 2017. Disponível em: < <http://seagro.to.gov.br/> > Acesso em: 30 mai. 2017.

SEPLAN. Secretaria do Planejamento e da Modernização da Gestão Pública. **Atlas do Tocantins: subsídios ao planejamento da gestão territorial**. 2012. Disponível em:

<http://web.seplan.to.gov.br/Arquivos/download/ZEE/TO_AtlasTocantins2012/Atlas_do_Tocantins_2012.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2016.

SEPLAN. Secretaria de Planejamento e da Modernização da Gestão Pública. **Mapeamento das regiões fitoecológicas e inventário florestal do Estado do Tocantins. Regiões fitoecológicas da faixa centro**. Escala 1:100.000. 2013.

Disponível em:

<http://web.seplan.to.gov.br/Arquivos/download/ZEE/TO_Rel_Mapeamento_Regioes_Fitoecologicas_Inventario_Florestal/Rel_Regioes_Fitoecologicas_Faixa_Centro_TO_vol1.pdf> Acesso em: 07 jul. 2017.

SILVA, L. A. G. C. **Biomias presentes no estado do Tocantins**.

Brasília: Consultoria Legislativa da Câmara dos Deputados, ago. 2007, 10 p.

SIQUEIRA, M. F.; PETERSON, A. T. Consequences of global climate change for geographic distributions of Cerrado tree species. **Biota Neotropica**, v. 3, n. 2, p. 1-14, 2003.

SILVA, F. A. M. da; et al. Caracterização climática do bioma Cerrado. In: SANO, S. M., et al (Org). Cerrado: ecologia e flora. Vol. 1. Brasília-DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008, cap. 3.

SOUSA, F. H. M. **Regionalização climática de Thorntwhaite e Mather para o Estado do Tocantins**. 2016. 113 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) - Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, TO, 2016.

TEUTSCHBEIN, C.; SEIBERT, J. Bias correction of regional climate model simulations for hydrological climate-change impact studies: Review and evaluation of different methods. **Journal of Hydrology**, v. 456-457, n. 16, p. 12-29, ago. 2012.

VAN LIEW, M. W.; VIETH, T. L.; BOSCH, D. D.; ARNOLD, J. G. Suitability of SWAT for the Conservation effects assessment project: Comparison on USDA-agricultural research service watersheds. **Journal of Hydrologic Engineering**, v.12, n.2, p.173-189, mar. 2007.

WATANABE, M.; SUZUKI, T.; O'ISHI, R.; KOMURO, Y.; WATANABE, S.; EMORI, S.; TAKEMURA, T.; CHIKIRA, M.; OGURA, T.; SEKIGUCHI, M.; TAKATA, K.; YAMAZAKI, D.; YOKOHATA, T.; NOZAWA, T.; HASUMI, H.; TETEBE, H.; KIMOTO,

M. Improved climate simulation by MIROC5: mean states, variability, and climate sensitivity. **Journal of Climate**, v. 23, n. 23. p. 6312–6335, dez. 2010.

3 MUDANÇAS CLIMÁTICAS FUTURAS SIMULADAS PELOS MODELOS ETA-HADGEM2-ES E ETA-MIROC5 PARA O ESTADO DO TOCANTINS NOS RCPS 4.5 E 8.5

RESUMO

Os possíveis impactos sobre os recursos hídricos e a biodiversidade do cerrado decorrentes da alteração de origem antrópica da concentração de Gases de Efeito Estufa (GEEs) é tida como uma das principais problemáticas ambientais do século XXI. O avanço de pesquisas sobre essa temática é realizado a partir da aplicação de modelos climáticos, que possibilitam a avaliação de cenários exploratórios futuros. Nesse contexto, objetivou-se quantificar as mudanças climáticas projetadas pelos modelos climáticos regionais Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 para o século XXI no Estado do Tocantins, para as trajetórias representativas de concentração (RCPs) 4.5 e 8.5. Levando-se em consideração o regime pluvial inerente ao Tocantins, os resultados foram analisados para a estação chuvosa (outubro a março) e seca (abril a setembro), tendo sido tratadas as seguintes variáveis: precipitação, evapotranspiração real, temperaturas (máxima, média e mínima) e umidade relativa. As mudanças climáticas mais severas foram projetadas pelo modelo Eta-HadGEM2-ES, exceto para a precipitação no período de estiagem. O RCP 8.5 apresentou os prognósticos mais severos projetados por ambos modelos. Os modelos regionais Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 projetam as maiores reduções de precipitação nas regiões Centro-Sul e Centro-Norte, respectivamente, enquanto que as mudanças climáticas geradas pelo modelo Eta-HadGEM2-ES para temperatura projetam aumento de até 5,8 °C na região Sul da Ilha do Bananal e APA dos Meandros do rio Araguaia.

Palavras-chave: mudanças climáticas; Cerrado; avaliação de cenários climáticos

FUTURE CLIMATE CHANGES SIMULATED BY ETA-HADGEM2-ES AND ETA-MIROC5 MODELS FOR THE STATE OF TOCANTINS IN RCPs 4.5 AND 8.5

ABSTRACT

The possible impacts about on the water resources and the biodiversity of the cerrado resulting from the alteration of anthropic origin of the concentration of Greenhouse Gases (GHGs) is considered as one of the main environmental problems of the 21st century. The advance of research on this theme is carried out through the application of climate models, which allow the evaluation of future exploratory scenarios. In this context, the objective was to quantify the climatic changes projected by the regional climatic models Eta-HadGEM2-ES and Eta-MIROC5 for the XXI century in the state of Tocantins, for the representative trajectories of concentration (RCPs) 4.5 and 8.5. Leading into account the rainfall regime inherent to Tocantins, the results were analyzed for the rainy season (october to march) and dry (april to september), with the following variables being treated: precipitation, real evapotranspiration, temperatures (maximum, average and minimum) and relative humidity. The most severe climate changes were designed by the Eta-HadGEM2-ES model, except for precipitation during the dry season. RCP 8.5 presented the most severe prognoses projected by

both models. The Eta-HadGEM2-ES and Eta-MIROC5 regional models project the largest reductions in precipitation in the Center-South and Center-North regions respectively, while the climatic changes generated by the Eta-HadGEM2-ES model for temperature project an increase of up until 5,8 °C in the Southern region of Bananal Island and APA of the Meanders of the Araguaia river.

Keywords: climate changes; Cerrado; assessment of climate scenarios

3.1 INTRODUÇÃO

O Cerrado é o maior bioma totalmente inserido em território brasileiro, ocupando cerca de 204,7 milhões de hectares, o que corresponde a 24% da área nacional (IBGE, 2004). Levando em consideração a diversidade biológica, o Cerrado brasileiro varia bastante em sua fisionomia, apresentando nos diversos ecossistemas, padrões heterogêneos de composição florística, além de permitir a ocorrência de alta riqueza de espécies (FELFILI et al., 2004; FRANÇOSO et al., 2016), com uma flora superior a 12.000 espécies de plantas nativas (MENDONÇA et al., 2008). O bioma Cerrado é caracterizado por apresentar uma vegetação influenciada pela sazonalidade e concentração de biomassa, sendo formado por exemplares arbóreos, herbáceos e arbustivos, se expressando em diversas fitofisionomias (EVANGELISTA, 2016).

O bioma Cerrado exerce um importante papel na produção e distribuição de recursos hídricos para oito das doze regiões hidrográficas brasileiras (LIMA e SILVA, 2007). Nesse contexto, o Cerrado é considerado o “berço das águas do Brasil”, ou “pai das águas do Brasil”, ou a “caixa d’água do Brasil”, pois além de abrigar uma parte do aquífero Guarani, nele surgem os principais afluentes dos rios Paraná, São Francisco e Amazonas (LIMA, 2011). Estudos apontam que 60% da produção hídrica superficial da bacia hidrográfica do Tocantins-Araguaia (967.059 km²) tem origem na área de ocorrência do Cerrado (LIMA e SILVA, 2007). Na área de ocorrência do Cerrado vem ocorrendo importante expansão da agropecuária. Assim, este bioma continua como uma fronteira agrícola, na qual está ocorrendo a supressão da vegetação nativa (MELO, 2013). Dentre as atividades econômicas, ganha destaque a pecuária de corte, produção de soja e silvicultura do eucalipto e da seringueira (BRASIL, 2012).

Em decorrência do acúmulo de Gases de Efeito Estufa (GEEs) ao longo dos últimos anos na atmosfera intensificado por atividades humanas, as mudanças climáticas refletem uma ameaça para a diversidade biológica e recursos hídricos, produzindo impactos até mesmo em áreas com pouca antropização (IPCC, 2013; DELAZERI, 2015). De acordo com o IPCC (2013), as diversas alterações climáticas se cogitam nas modificações de variáveis representativas do clima tais como precipitação, temperatura (média, máxima e mínima), evapotranspiração real e umidade do ar, vento e radiação solar. As mudanças climáticas resultarão em

alterações na ocorrência de eventos extremos, como os longos períodos de estiagem, riscos ambientais, sociais e econômicos, inundações com maiores intensidades, interferindo diretamente no ciclo hidrológico (PBMC, 2014; SENEVIRATNE et al., 2012).

De acordo com Collins et al. (2013), é muito importante a definição de cenários climáticos, em razão de estabelecerem rigorosamente o uso da terra e das forças radiantes em diferentes situações de emissões de GEEs no ambiente. Nobre (2001), destaca que há altíssima probabilidade da ocorrência de mudanças do clima de grande magnitude até o final do século XXI, visto que a emissão de gases do efeito estufa para atmosfera são intensificados por meio de atividades antrópicas.

O *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) foi consolidado em 1988 pelo *United Nations Environment Programme* (UNEP) e pela *World Meteorological Organization* (WMO), sendo considerado o principal órgão científico responsável pelas avaliações das mudanças climáticas e seus impactos ambientais e socioeconômicos (IPCC, 2007). Cubash et al. (2013), destacam que as informações mais recentes sobre as mudanças climáticas globais são encontradas no Quinto Relatório de Avaliação (AR5) do IPCC. O AR5 se baseia nos *Representative Concentration Pathways* (RCPs), que consistem em projeções das concentrações de GEEs, gases quimicamente ativos, aerossóis e uso e cobertura do solo para o século XXI (VAN VUUREN et al., 2011) e seu consequente aumento da retenção de energia no planeta, denominado de forçante radiativa e mensurado em $W.m^{-2}$. Os RCPs foram criados com o intuito de servir como entrada para a modelagem química atmosférica e climática em experimentos numéricos do *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5* (CMIP5) (SILVEIRA et al., 2016). No AR5 são tratados diferentes RCPs, sendo estes nomeados em função da forçante radiativa atingida no final do século XXI em RCP: 2.6, 4.5, 6.0 e 8.5 (MOSS et al., 2010). Desta maneira o RCP mais severo projeta um aumento da forçante radiativa de $8,5 W.m^{-2}$ até o final do século XXI (RCP 8.5); enquanto que o RCP 4.5 é tido como uma projeção intermediária entre o 2.6 e o 8.5 (CHOU et al. 2014a).

De acordo com Lyra (2015), os modelos climáticos globais (GCMs) e regionais (RCMs) são utilizados como importantes ferramentas para projeções de cenários climáticos, auxiliando nos estudos do clima no futuro. Marengo et al. (2012) e Chou et al. (2014b), em estudos com GCMs e RCMs, simularam alterações na precipitação e aumento da temperatura para o continente Sul-americano, sendo que são projetadas

mudanças climáticas mais severas para o final do século XXI. O IPCC define mudanças climáticas como alterações estatisticamente significativas em um parâmetro médio ou em sua variabilidade. Estas mudanças podem ser ocasionadas por processos naturais internos ou forçamentos externos, e até mesmo por ações antrópicas na composição do uso do solo e da atmosfera. Estudos apontam que mudanças climáticas podem provocar impactos sobre a vegetação dos principais biomas brasileiros, com consequências sobre a biodiversidade (COX et al., 2004; GOLDING e BETTS, 2008; MALHI et al., 2009).

O Estado do Tocantins apresenta área de 277.621 km² (3,26% do território nacional e 7,17% da região Norte). O bioma Cerrado ocupa cerca de 91% da área do Estado, e o bioma Amazônia ocupa 9% de sua superfície territorial (IBGE, 2016). O estudo das projeções climáticas é muito importante para o Estado do Tocantins pois fornecem resultados com mais detalhes para formular políticas públicas objetivando a prevenção e mitigação de possíveis impactos.

Os modelos climáticos regionais podem ser considerados úteis em análises dos impactos futuros do clima em escala local, uma vez que a implementação e desenvolvimento são melhores adaptados em regiões de menor escala (SANTIAGO et al., 2016). Estes estudos são necessários para avaliações de vulnerabilidade, adaptação e mitigação dos impactos das alterações climáticas na biodiversidade (MARENGO et al., 2012; LYRA, 2015). Dessa forma, diversos pesquisadores têm realizado trabalhos utilizando modelos climáticos globais e regionais na simulação de mudanças climáticas em escala local nas próximas décadas (CABRÉ et al., 2010; MENÉNDEZ et al., 2010; MARENGO et al., 2012; JOETZJER et al., 2013; JONES e CARVALHO, 2013; CHOU et al., 2014b; LYRA, 2015).

Neste contexto, objetivou-se quantificar as mudanças climáticas projetadas para o Estado do Tocantins pelos modelos climáticos regionais Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 nos RCPs 4.5 e 8.5. Especificamente objetivou-se mapear as mudanças climáticas projetadas para a precipitação, evapotranspiração real, temperaturas (máxima, média e mínima) e umidade relativa, nos períodos seco e chuvoso dos intervalos temporais de 2007 a 2040 e 2041 a 2070.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Caracterização da área de estudo

O Estado do Tocantins está localizado na região Norte do território brasileiro entre os paralelos 5°10'06" e 13°27'59" de latitude Sul, e entre os meridianos 45°44'46" e 50°44'33" de longitude Oeste fazendo divisa com os Estados da Bahia, Goiás, Maranhão, Mato Grosso, Pará e Piauí (IBGE, 2004). A figura 11a apresenta a inserção do Estado do Tocantins no território brasileiro e os biomas ali presentes. De acordo com Sousa (2016), as três regiões climáticas homogêneas que ocorrem no Tocantins, de acordo com a classificação climática de Thornthwaite e Mather são: a) C1s2A'a' (clima subúmido seco, com grande excesso de água no verão, megatérmico); b) C2wA'a' (clima subúmido, com deficiência de água moderada no inverno, megatérmico) e c) B1wA'a' (clima úmido, com deficiência de água moderada no inverno, megatérmico) (Figura 11b).

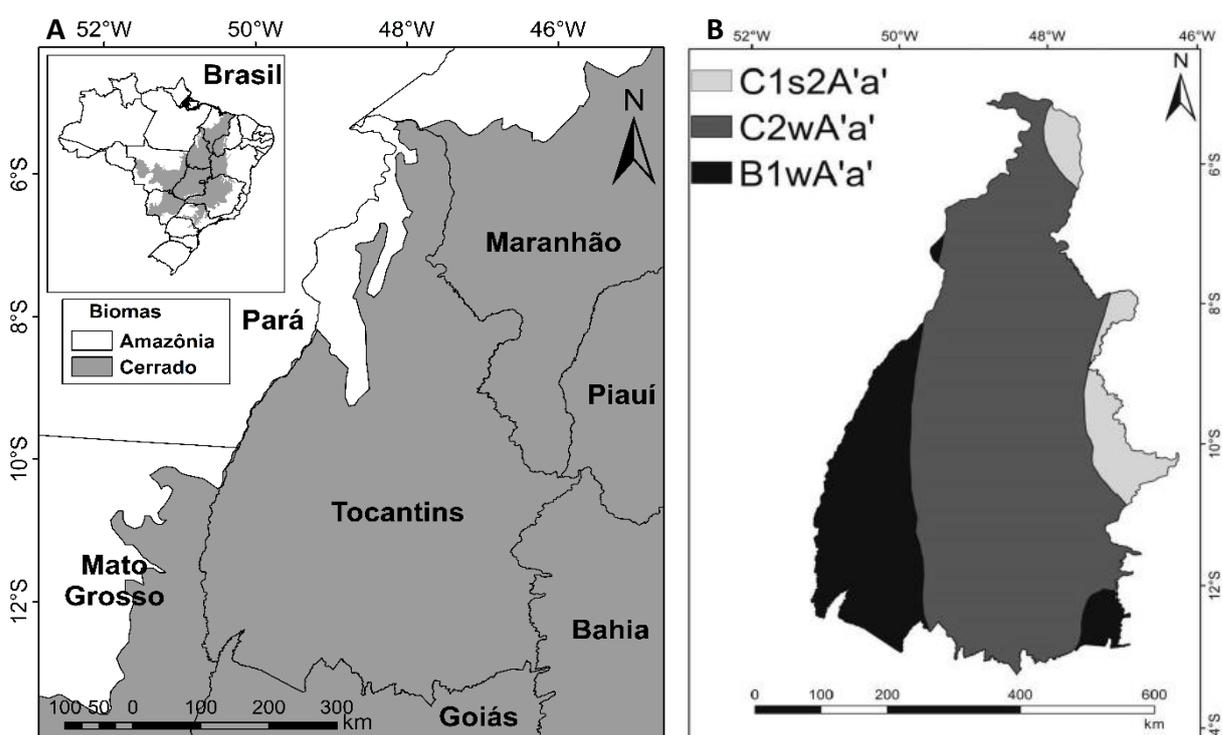


Figura 11: Localização do Estado do Tocantins no território brasileiro destacando os biomas e divisas (A); regionalização climática de Thornthwaite e Mather para o Estado do Tocantins (B) (SOUSA, 2016).

3.2.2 Projeções climáticas

O modelo global HadGEM2-ES (*Hadley Centre Global Environmental Model version 2 Earth System*) (COLLINS et al., 2011; MARTIN et al., 2011) é um modelo

em ponto de grade com resolução N96, equivalente a 1,875 e 1,275 graus de longitude e latitude, respectivamente, e 38 níveis verticais na atmosfera, chegando a cerca de 40 km de altitude. O HadGEM2-ES foi usado pelo *Met Office Hadley Centre* para as simulações do *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5* (CMIP5) (IPCC, 2013), que utiliza dados históricos de 1960 a 2005 e projeções através dos RCPs do AR5 (MOSS et al., 2010).

O *Model for Interdisciplinary Research on Climate* (MIROC5) (WATANABE et al., 2010), foi desenvolvido em conjunto pelo *National Institute of Environmental Studies* (NIES), *Center for Climate System Research* (CCSR) e *Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology* (JAMSTEC), sendo essa nova versão utilizada no *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), no AR5 (IPCC, 2013). Segundo Watanabe et al. (2010), o componente atmosférico do MIROC5 apresenta resolução vertical de 40 níveis, com resolução T85, correspondendo a aproximadamente 150 km na horizontal. O componente oceânico é o *Center for Climate System Research Ocean Component Model* (COCO 4.5) (HASUMI, 2006), apresentando 1º de resolução horizontal e 40 níveis atmosféricos.

O modelo climático regional (RCM) utilizado neste trabalho foi o Eta, sendo desenvolvido na Universidade de Belgrado, e empregado operacionalmente pelo *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) (BLACK, 1994; MESINGER et al., 2012), e no Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE) desde 1996. Atualmente é utilizado na previsão do tempo no CPTEC/INPE, e já foi utilizado na América do Sul em estudos de previsão, em diferentes escalas de tempo e resoluções espaciais (CHOU et al., 2014a). Este modelo apresenta resolução de aproximadamente 20 km na horizontal, 38 camadas na vertical e 25 hPa na parte superior do modelo (CHOU et al., 2014a; 2014b).

No presente estudo foram utilizadas projeções climáticas disponibilizadas por Chou et al. (2014a; 2014b). Referem-se às projeções dos modelos globais HadGEM2-ES e MIROC5, com regionalização (*downscaling*) pelo modelo regional Eta, sendo então designados por Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5. Especificamente foram analisados os RCPs 4.5 e 8.5, nos períodos de 2007 a 2040 e 2041 a 2070. O RCP 4.5 é considerado uma projeção realista, pressupondo que a forçante radiativa se estabiliza em $4,5 \text{ W.m}^{-2}$ em 2100, atingindo cerca de 650 ppm de CO_2 ao fim do século XXI (THOMSON et al., 2011). Por outro lado, segundo Riahi et al. (2011), o RCP 8.5

estabelece as maiores emissões de gases de efeito estufa, sendo considerado uma projeção pessimista, atingindo $8,5 \text{ W.m}^{-2}$ e 936 ppm de CO_2 em 2100.

Para o cálculo das mudanças climáticas considerou-se como referência os valores simulados para o clima presente (*baseline*) entre 1961 e 2005. Assim quantificaram-se as mudanças climáticas simuladas para os períodos de 2007 a 2040 e de 2041 a 2070 pelos modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5, dividido em período chuvoso (outubro a março) e período seco (abril a setembro), conforme a equação 4. Para análise das mudanças climáticas projetadas, têm-se que valores positivos representam aumento da variável no período futuro em análise, enquanto que, valores negativos representam redução. Foram analisadas as seguintes variáveis climatológicas: precipitação, evapotranspiração real, temperaturas (mínima, média e máxima) e umidade relativa.

$$A = V_f - V_b \quad (4)$$

em que:

A é a mudança climática projetada;

V_f é a projeção para o clima futuro;

V_b é a projeção para o clima presente (*baseline*).

As mudanças climáticas também foram caracterizadas por região (Figura 12), onde utilizaram-se os dados simulados pelos modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 para os RCPs 4.5 e 8.5 nas seguintes variáveis climáticas: precipitação anual, evapotranspiração real, temperatura máxima anual, temperatura média anual, temperatura mínima anual e umidade relativa.

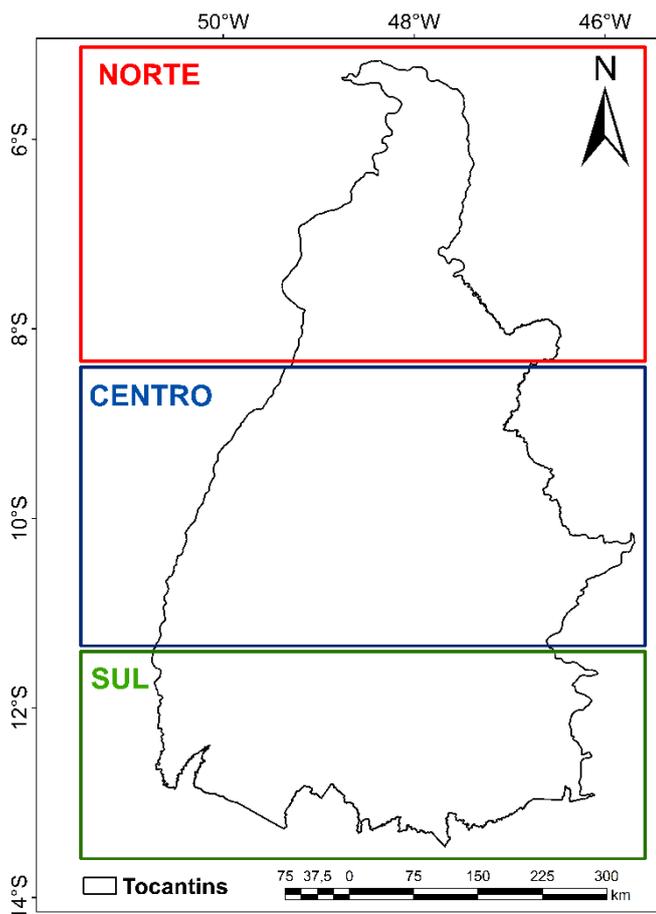


Figura 12: Caracterização do Estado do Tocantins separados por região

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A precipitação, em mm, simulada pelos modelos Eta-MIROC5 e Eta-HadGEM2-ES para a estação chuvosa (outubro a março) no clima presente (1961-2005) e as mudanças climáticas projetadas para os períodos futuros de 2007 a 2040 e 2041 a 2070 nos RCPs 4.5 e 8.5 estão apresentadas na figura 13.

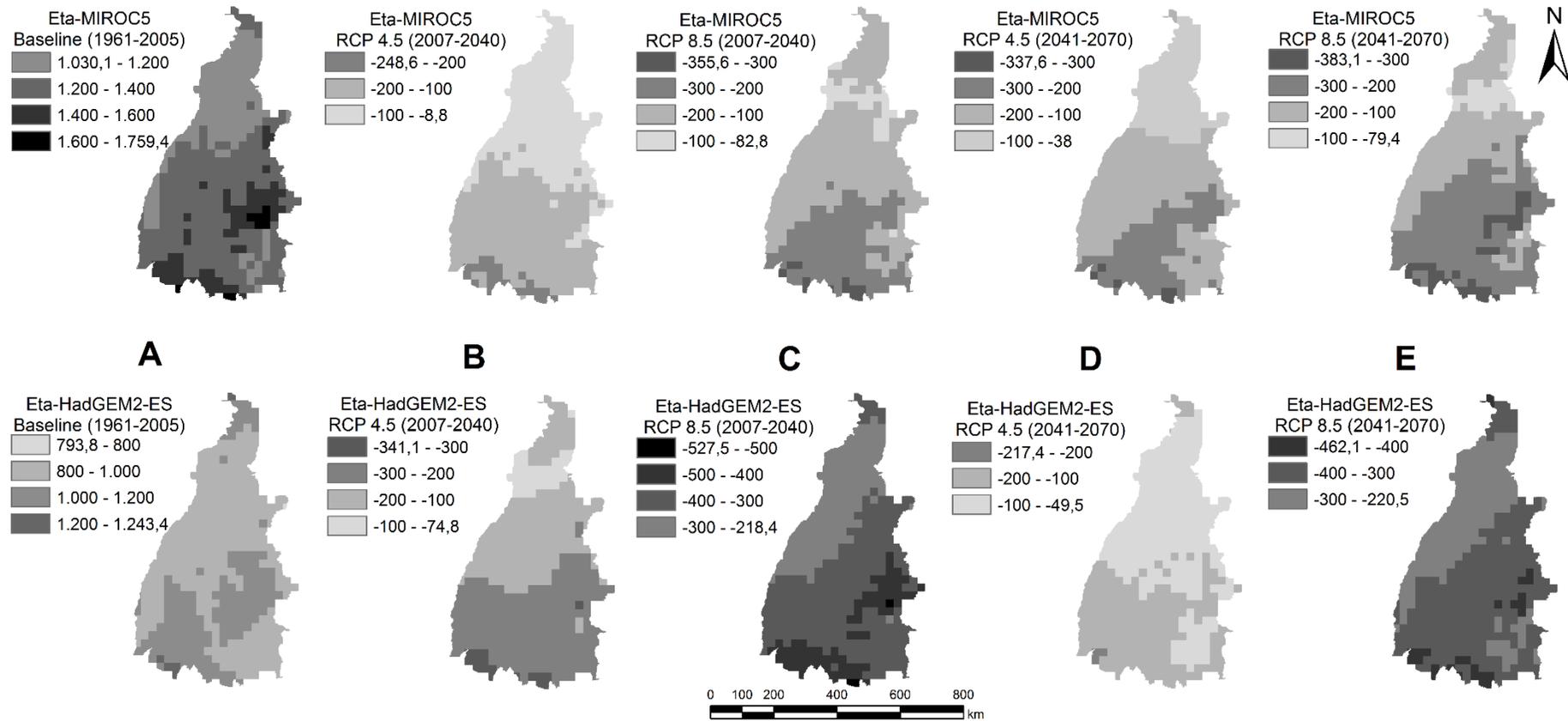


Figura 13: Precipitação simulada, em mm, para o clima presente (A) e mudanças climáticas projetadas para o período chuvoso (outubro a março) no RCP 4.5 entre 2007 e 2040 (B) e 2041 e 2070 (C), e no RCP 8.5 entre 2007 e 2040 (D) e 2041 e 2070 (E), pelos modelos Eta-MIROC5 e Eta-HadGEM2-ES.

No período chuvoso (outubro a março) do clima presente, verifica-se que as simulações geradas pelo Eta-MIROC5 resultam em maiores lâminas precipitadas, quando comparado ao Eta-HadGEM2-ES. Pode-se destacar as regiões Sul, Centro-Leste e extremo Norte com as maiores lâminas precipitadas para ambos os modelos. Nestas regiões, para o caso específico do Eta-HadGEM2-ES, são simuladas lâminas médias anuais de até 1.221,5, 1.193 e 1.217,1 mm, respectivamente, enquanto que, para o Eta-MIROC5 são de 1.681,3, 1.762,3 e 1.322,1 mm, respectivamente. Comparando-se os resultados simulados para o clima presente com o mapa de precipitação anual do Atlas do Tocantins (SEPLAN, 2012) verifica-se que os modelos não captaram a maior precipitação que ocorre no Centro-Oeste do Estado, ao Norte da Ilha do Bananal, na região do Parque Estadual do Cantão e da APA da Ilha do Bananal/Cantão, onde a precipitação anual atinge até 2.100 mm. Ainda no mapa de SEPLAN (2012) o extremo Sudeste do Estado, nas proximidades do reservatório da Usina Hidrelétrica de Peixe Angical ocorrem os menores totais anuais, sendo inferior a 1.300 mm, sendo este padrão específico, melhor representado pelo Eta-HadGEM2-ES. A referida distribuição espacial da chuva observada no Estado do Tocantins por SEPLAN (2012) também foi identificada nos trabalhos de Sousa (2016) e Viola et al. (2014).

No primeiro período futuro analisado (2007-2040), figuras 13b e 13c, observam-se mudanças negativas em todo o Estado do Tocantins em ambos RCPs (4.5 e 8.5), ou seja, em comparação com o clima presente é simulada uma redução da lâmina precipitada durante o período chuvoso. A maior redução simulada é na região Sul do Estado, com gradiente decrescente em direção à região Norte, para ambos os modelos e cenários. As mudanças climáticas simuladas pelo modelo Eta-HadGEM2-ES novamente são mais severas que as do Eta-MIROC5. Observa-se também que o RCP 8.5 projeta mudanças mais severas que o 4.5 em todas as situações analisadas.

No segundo período futuro analisado (2041-2070), apresentado nas figuras 13d e 13e, novamente as projeções são de redução das chuvas em todo o Estado. As maiores reduções são simuladas para as regiões Centro-Sul em ambos modelos e cenários. Observa-se que o modelo Eta-HadGEM2-ES RCP 8.5 apresenta as projeções mais severas, situação na qual são simuladas reduções de até 462,1 mm na região Sul do Estado. Da mesma forma, Silveira et al. (2013), em estudo na região Amazônica, simularam redução da precipitação pelo modelo HadGEM2-ES, com

reduções de até 4,3 e 5,2%, para os períodos de 2010 a 2039 e 2040 a 2069, respectivamente.

A figura 14 apresenta a precipitação, em mm, simulada pelos modelos Eta-MIROC5 e Eta-HadGEM2-ES para a estação seca (abril a setembro) no clima presente (1961-2005) e as mudanças projetadas para os períodos futuros de 2007 a 2040 e 2041 a 2070 nos RCPs 4.5 e 8.5.

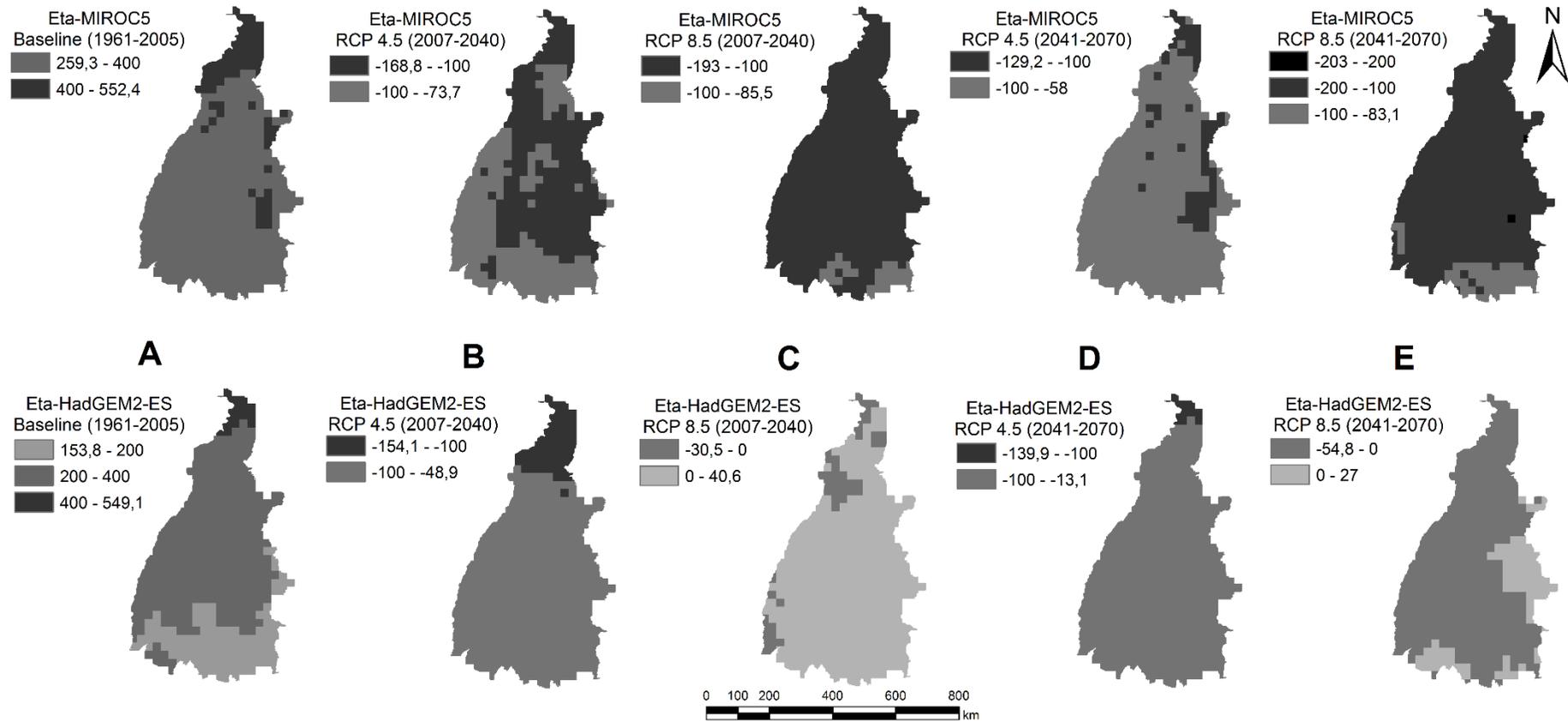


Figura 14: Precipitação simulada, em mm, para o clima presente (A) e mudanças climáticas projetadas para o período seco (abril a setembro) no RCP 4.5 entre 2007 e 2040 (B) e 2041 e 2070 (C), e no RCP 8.5 entre 2007 e 2040 (D) e 2041 a 2070 (E) pelos modelos Eta-MIROC5 e Eta-HadGEM2-ES.

Para a estiagem do clima presente (Figura 14a) foram simuladas lâminas entre 259,3 e 552,4 mm (Eta-MIROC5) e entre 153,8 e 549,1 mm (Eta-HadGEM2-ES). Para os períodos futuros (Figuras 14b, 14c, 14d e 14e) foram simuladas reduções, com exceção do Eta-HadGEM2-ES no RCP 8.5 para ambos os períodos, situação na qual foram simuladas mudanças positivas de até 40,6 mm. Comparando-se os dois modelos observam-se projeções mais severas simuladas pelo Eta-MIROC5 em todas as situações. Considerando-se que na área de predomínio do bioma Cerrado no Estado do Tocantins a estação seca é marcada por rigorosos índices pluviométricos ao longo de um período de até 6 meses, a simulação deste período, principalmente pelo Eta-MIROC5, pode significar importantes alterações ambientais em função da intensificação do déficit hídrico.

A evapotranspiração real, em mm, simulada pelos modelos Eta-MIROC5 e Eta-HadGEM2-ES para a estação chuvosa (outubro a março) no clima presente (1961-2005) e as mudanças projetadas para os períodos futuros de 2007 a 2040 e 2041 a 2070 nos RCPs 4.5 e 8.5 estão apresentadas na figura 15.

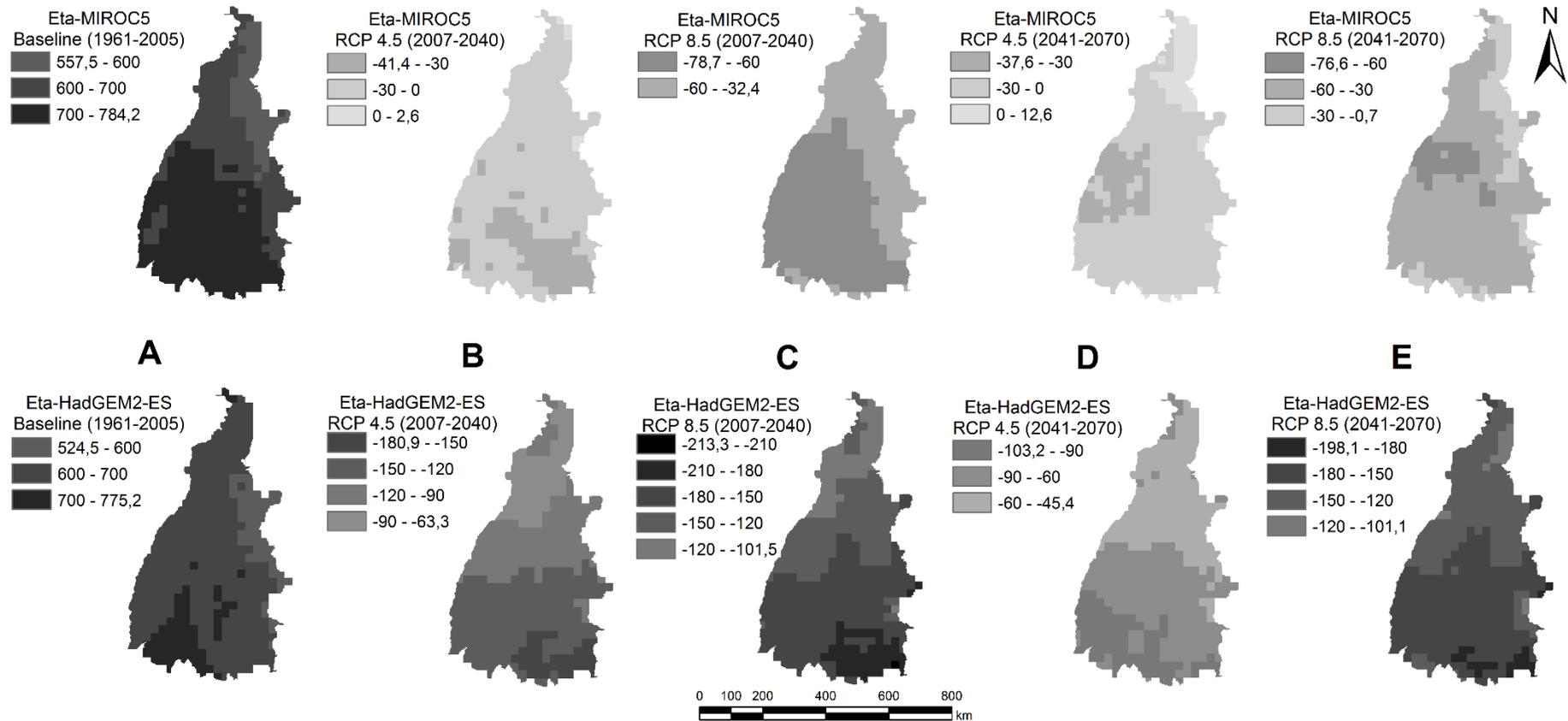


Figura 15: Evapotranspiração real acumulada, em mm, para o clima presente (A) e mudanças climáticas projetadas para o período chuvoso (outubro a março) no RCP 4.5 entre 2007 e 2040 (B) e 2041 e 2070 (C), e no RCP 8.5 entre 2007 e 2040 (D) e 2041 e 2070 (E) pelos modelos Eta-MIROC5 e Eta-HadGEM2-ES.

Pela figura 15a, observa-se que a evapotranspiração real acumulada do período de outubro a março, simulada pelos modelos Eta-MIROC5 e Eta-HadGEM2-ES apresentam similaridade em termos de sua distribuição espacial, onde nesta situação a região Centro-Sul exibe as maiores lâminas (acima de 700 mm) para ambos modelos. Sousa (2016), em mapeamento sobre a evapotranspiração real no Estado do Tocantins, obteve as maiores lâminas (de até 1.154,5 mm) nas regiões Centro-Oeste do Tocantins, ao norte do Parque Nacional do Araguaia, na faixa oeste da APA da Ilha do Bananal/Cantão e na região do Parque Estadual do Cantão. Estes resultados não estão em conformidade com as simulações do modelo Eta-HadGEM2-ES, para o qual se obteve as maiores lâminas na região da APA dos Meandros do Rio Araguaia.

A projeção do modelo Eta-HadGEM2-ES é de redução da evapotranspiração real em todo o território tocantinense para os dois períodos futuros e RCPs, chegando a -213,3 mm no sudeste do Estado (RCP 8.5 entre 2007 e 2040). O Eta-MIROC5 apresentou projeções negativas para grande parte do Estado nos RCPs 4.5 e 8.5 em ambos períodos futuros. Assim verificam-se projeções mais severas pelo Eta-HadGEM2-ES no RCP 8.5. Tais projeções para a evapotranspiração real são resultado da intensificação do déficit hídrico, seja pelo aumento simulado para a temperatura como também pela redução das chuvas. Essa redução da evapotranspiração real é resultante da ocorrência do aumento da temperatura, ocasionando em um aumento da demanda atmosférica (evapotranspiração potencial). Entretanto, a evapotranspiração real diminui em razão da redução da disponibilidade de água na superfície devido à redução simulada para as chuvas.

A figura 16 apresenta a evapotranspiração real, em mm, simulada pelos modelos Eta-MIROC5 e Eta-HadGEM2-ES para a estação seca (abril a setembro) no clima presente (1961-2005) e as projeções para os períodos futuros de 2007 a 2040 e 2041 a 2070 nos RCPs 4.5 e 8.5.

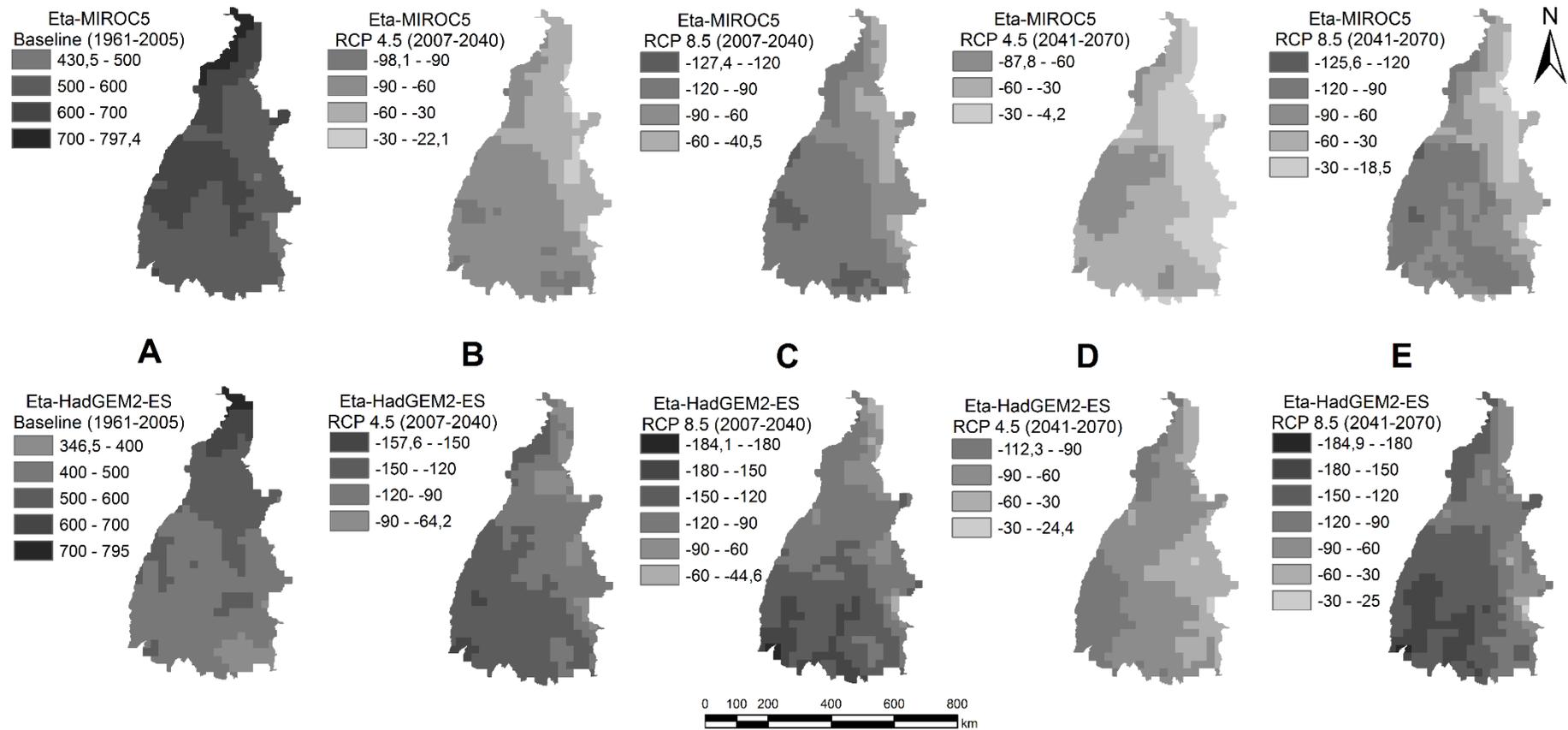


Figura 16: Evapotranspiração real acumulada, em mm, para o clima presente (A) e mudanças climáticas projetadas para o período seco (abril a setembro) no RCP 4.5 entre 2007 e 2040 (B) e 2041 e 2070 (C), e no RCP 8.5 entre 2007 e 2040 (D) e 2041 e 2070 (E) pelos modelos Eta-MIROC5 e Eta-HadGEM2-ES.

Na estação seca (abril-setembro), clima presente, as projeções geradas pelos modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 (Figura 16a) apresentam maior similaridade na distribuição espacial quando comparado ao período chuvoso. As maiores lâminas foram simuladas para a região Norte, com valores podendo atingir até 795 e 797,4 mm, respectivamente. Por outro lado, os menores valores são projetados para a região Sul-Sudeste nos dois modelos, com lâminas mínimas de 346,5 mm (Eta-HadGEM2-ES) e 430,5 mm (Eta-MIROC5).

Em ambos períodos futuros foram projetadas reduções da evapotranspiração real para todo o Estado, sobretudo para a região Sul-Sudoeste. Cabe ressaltar que o modelo Eta-HadGEM2-ES apresenta reduções mais severas que o Eta-MIROC5. Como para a estação chuvosa, na estação seca o RCP 8.5 apresenta resultados mais severos quando comparados com os do RCP 4.5.

A temperatura média, em °C, simulada pelos modelos Eta-MIROC5 e Eta-HadGEM2-ES para a estação chuvosa (outubro a março) no clima presente (1961-2005) e as projeções para os períodos futuros de 2007 a 2040 e 2041 a 2070 nos RCPs 4.5 e 8.5 estão apresentadas na figura 17.

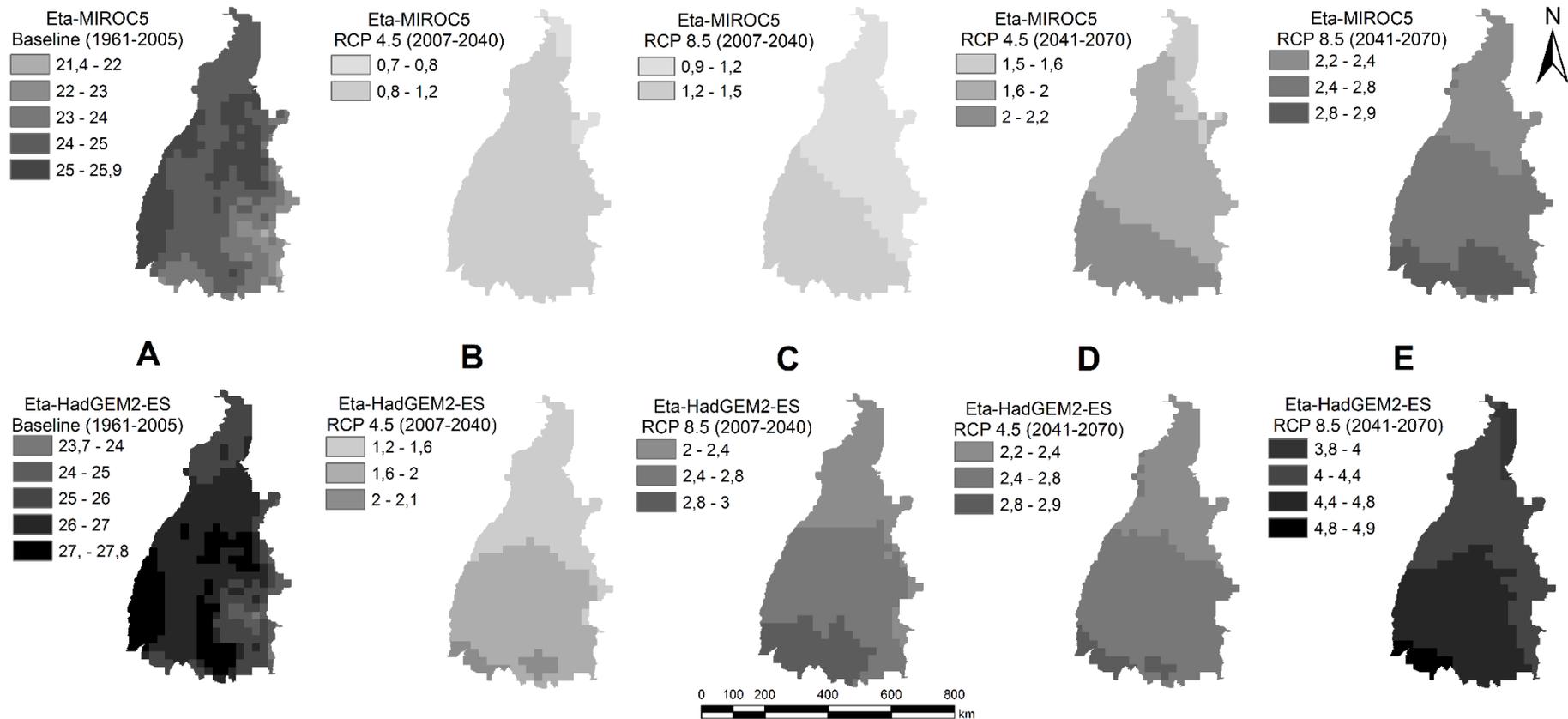


Figura 17: Temperatura média, em °C, simulada para o clima presente (A) e mudanças climáticas projetadas para o período chuvoso (outubro a março) no RCP 4.5 entre 2007 e 2040 (B) e 2041 e 2070 (C), e no RCP 8.5 entre 2007 e 2040 (D) e 2041 e 2070 (E) pelos modelos Eta-MIROC5 e Eta-HadGEM2-ES.

Avaliando-se as temperaturas médias simuladas para a estação chuvosa do clima presente (Figura 17a), observam-se temperaturas variando entre 23,7 e 27,8 °C (Eta-HadGEM2-ES) e entre 21,4 e 25,9 °C (Eta-MIROC5). Notam-se as regiões da Ilha do Bananal (Sudoeste) e do Parque Estadual do Jalapão (Centro-Leste) com as maiores temperaturas. Mapeamentos existentes de temperatura média anual realizados por SEPLAN (2012) e Sousa (2016) mostram um padrão divergente. Nestes estudos as maiores temperaturas médias anuais foram obtidas para a região Norte e Centro-Leste do Estado.

Analisando-se os mapas de mudanças projetadas para a temperatura média nos períodos futuros (Figuras 17b, 17c, 17d e 17e) notam-se valores positivos, com gradiente crescente na direção Nordeste-Sudoeste, de maneira que as projeções mais severas se situem na região Sudoeste do Tocantins. Observando as projeções para o primeiro período futuro (2007-2040) no RCP 8.5, para o modelo Eta-HadGEM2-ES notam-se aquecimentos previstos de 2 a 3 °C, enquanto que para o modelo Eta-MIROC5 o aquecimento previsto vai de 0,9 a 1,5 °C. Os resultados mais severos são esperados para o RCP 8.5, tendo em vista que é assumido um maior forçamento radiativo. No próximo período futuro analisado novamente são projetados maiores aquecimentos pelo Eta-HadGEM2-ES. Contudo neste período as projeções são mais preocupantes, variado de 3,8 a 4,9 °C para o Eta-HadGEM2-ES e de 2 a 2,9 °C para o Eta-MIROC5, no RCP 8.5.

A figura 18 apresenta a temperatura média, em °C, simulada pelos modelos Eta-MIROC5 e Eta-HadGEM2-ES para a estação seca (abril a setembro) no clima presente (1961-2005) e as mudanças projetadas para os períodos futuros de 2007 a 2040 e 2041 a 2070 nos RCPs 4.5 e 8.5.

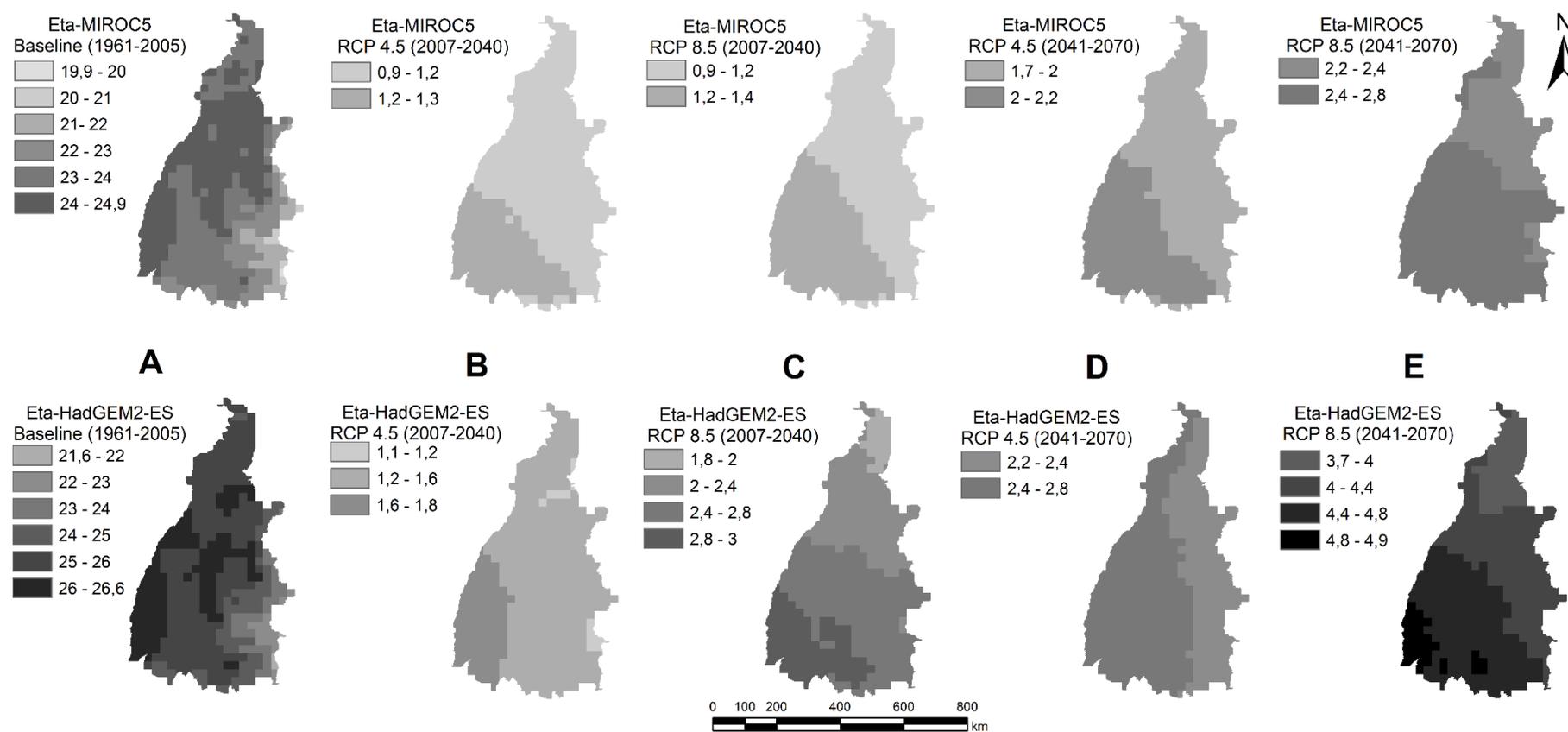


Figura 18: Temperatura média, em °C, simulada para o clima presente (A) e mudanças climáticas projetadas para o período seco (abril a setembro) no RCP 4.5 entre 2007 e 2040 (B) e 2041 e 2070 (C), e no RCP 8.5 entre 2007 e 2040 (D) e 2041 e 2070 (E) pelos modelos Eta-MIROC5 e Eta-HadGEM2-ES.

Na estação seca do clima presente foram simuladas temperaturas médias variando de 19,9 a 24,9 °C e de 21,6 a 26,6 °C pelos modelos Eta-MIROC5 e Eta-HadGEM2-ES, respectivamente. Como para o período chuvoso, novamente foram simuladas as maiores temperaturas para a região Sudoeste, acompanhada da região Central do Estado.

De uma maneira geral, para os períodos futuros (Figuras 18b, 18c, 18d e 18e) observa-se um gradiente crescente para as mudanças projetadas no sentido Nordeste-Sudoeste do Estado, assim como para o período chuvoso. Novamente as projeções mais intensas foram obtidas pelo modelo Eta-HadGEM2-ES e para o RCP 8.5. Especificamente para o período de 2041-2070 no RCP 8.5 são projetados aumentos na temperatura média de 2,2 a 2,8 °C e de 3,7 a 4,9 °C pelos modelos Eta-MIROC5 e Eta-HadGEM2-ES, respectivamente.

O aumento simulado para a temperatura tende a proporcionar o aumento da evapotranspiração potencial. Associando a isto os resultados simulados de redução das chuvas, têm-se uma projeção de intensificação do déficit hídrico sobre o Cerrado tocantinense. O aumento na ocorrência de incêndios no bioma Cerrado, pode ser um outro fator causado pelo aumento de temperatura, provocando possíveis impactos sobre a flora e fauna, além de uma maior poluição atmosférica (BOWMAN et al., 2009).

A temperatura máxima, em °C, simulada pelos modelos Eta-MIROC5 e Eta-HadGEM2-ES para a estação chuvosa (outubro a março) no clima presente (1961-2005) e as mudanças projetadas para os períodos futuros de 2007 a 2040 e 2041 a 2070 nos RCPs 4.5 e 8.5 estão apresentadas na figura 19.

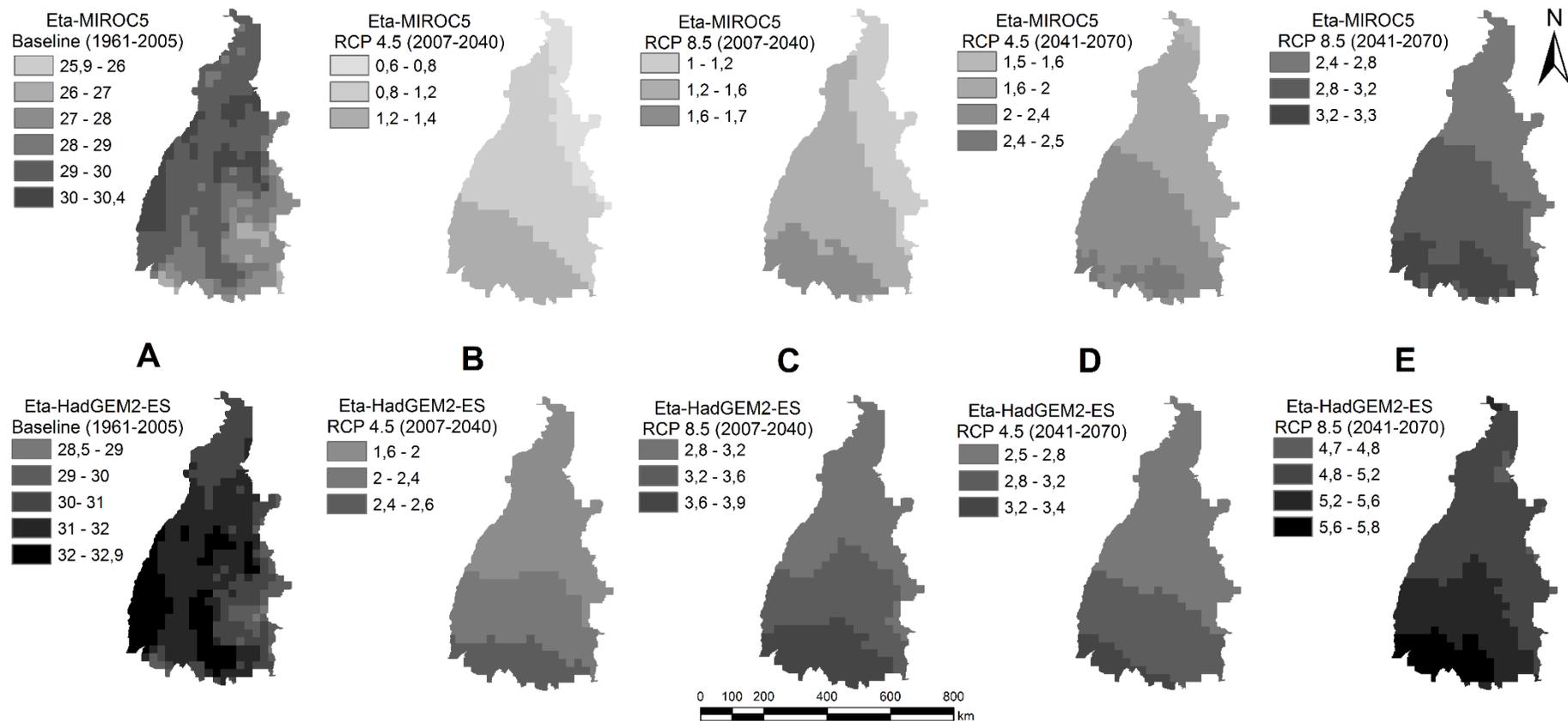


Figura 19: Temperatura máxima, em °C, simulada para o clima presente (A) e mudanças climáticas projetadas para o período chuvoso (outubro a março) no RCP 4.5 entre 2007 e 2040 (B) e 2041 e 2070 (C), e no RCP 8.5 entre 2007 e 2040 (D) e 2041 e 2070 (E) pelos modelos Eta-MIROC5 e Eta-HadGEM2-ES.

Durante a estação chuvosa, nota-se para o clima presente (Figura 19a), maiores temperaturas máximas simuladas para as regiões Sudoeste, Centro-Sul e Central. As projeções do Eta-MIROCC5 foram entre 25,9 e 30,4 °C, enquanto as do Eta-HADGEM2-ES foram entre 28,5 e 32,9 °C.

Novamente, como obtido para a temperatura média, observam-se projeções de aumento de temperatura, sendo as mais severas pelo Eta-HadGEM2-ES no RCP 8.5 entre 2041 e 2070, situação para a qual simularam-se aumentos entre 4,7 e 5,8 °C. De maneira geral, o gradiente crescente de aumento da temperatura média projetado para a direção Nordeste-Sudoeste do Estado também ocorre nessa situação.

A figura 20 apresenta a temperatura máxima, em °C, simulada pelos modelos Eta-MIROC5 e Eta-HadGEM2-ES para a estação seca (abril a setembro) no clima presente (1961-2005) e as mudanças projetadas para os períodos futuros de 2007 a 2040 e 2041 a 2070 nos RCPs 4.5 e 8.5.

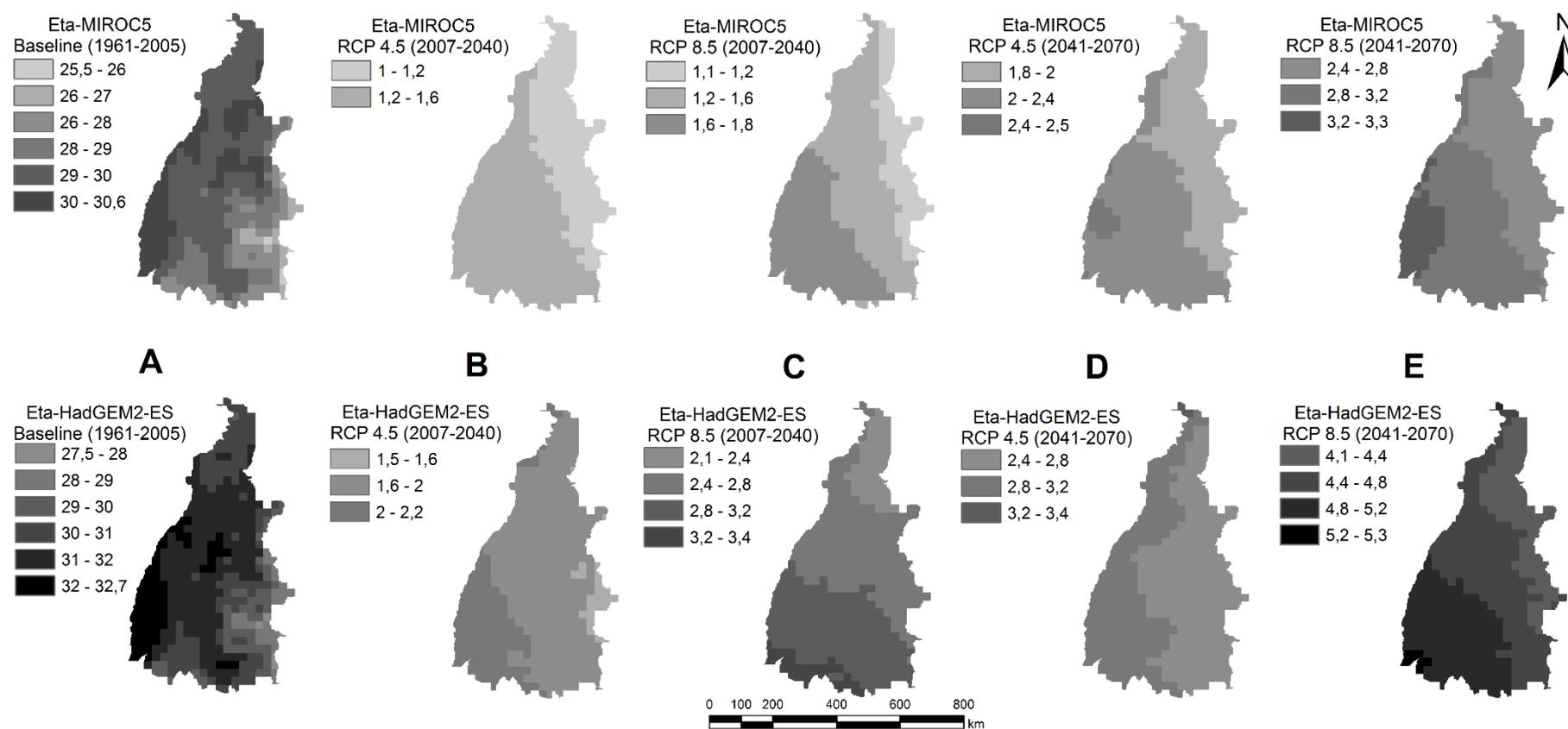


Figura 20: Temperatura máxima, em °C, simulada para o clima presente (A) e mudanças climáticas projetadas para o período seco (abril a setembro) no RCP 4.5 entre 2007 e 2040 (B) e 2041 e 2070 (C), e no RCP 8.5 entre 2007 e 2040 (D) e 2041 e 2070 (E) pelos modelos Eta-MIROC5 e Eta-HadGEM2-ES.

A temperatura máxima simulada para a estação seca do clima presente (Figura 20a) apresenta maiores temperaturas a Sudoeste (Ilha do Bananal). O modelo climático Eta-MIROC5 simulou temperaturas máximas entre 25,5 e 30,6 °C, enquanto que o Eta-HadGEM2-ES simulou valores substancialmente mais elevados, sendo de 27,5 a 32,7 °C.

No período de 2007 a 2040 (Figuras 20b e 20c) são simuladas mudanças positivas com gradiente crescente da região Norte em direção a região Sul-Sudoeste e em algumas situações da região Leste para a Sul-Sudoeste. No modelo Eta-HadGEM2-ES observa-se um aumento nas temperaturas máximas variando de 2,1 a 3,4 °C (RCP 8.5), enquanto que no modelo Eta-MIROC5 o aquecimento simulado é de 1,1 a 1,8 °C (RCP 8.5).

Para o período futuro de 2041-2070 (Figuras 20d e 20e), também verificam-se projeções de aumento da temperatura, com a direção dos gradientes bastante próximas das simuladas no período de 2007-2040. É possível identificar para o período de 2041-2070 incrementos simulados para a temperatura máxima de até 5,3 °C (Eta-HadGEM2-ES) e de 3,3 °C (Eta-MIROC5).

A temperatura mínima, em °C, simulada pelos modelos Eta-MIROC5 e Eta-HadGEM2-ES para a estação chuvosa (outubro a março) no clima presente (1961-2005) e as mudanças projetadas para os períodos futuros de 2007 a 2040 e 2041 a 2070 nos RCPs 4.5 e 8.5 estão apresentadas na figura 21.

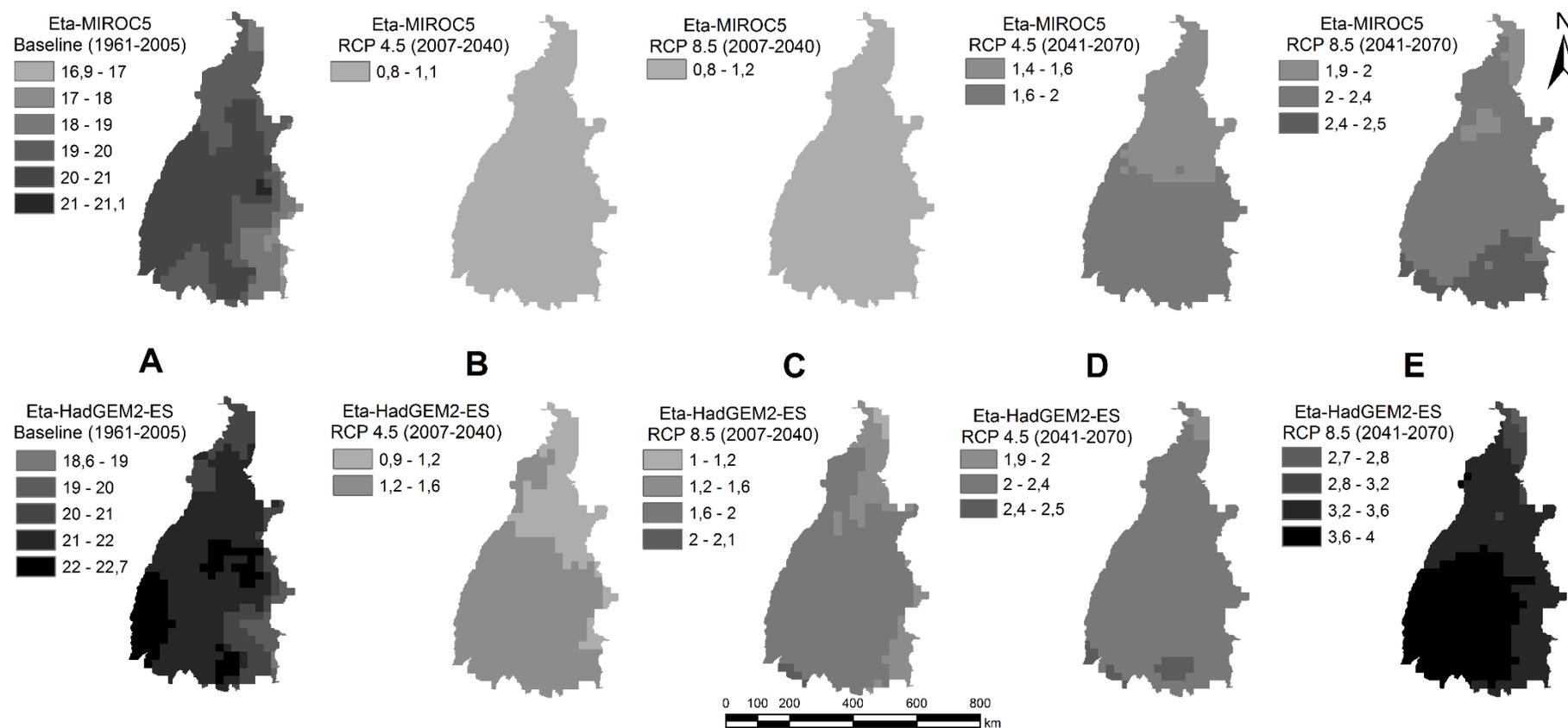


Figura 21: Temperatura mínima, em °C, simulada para o clima presente (A) e mudanças climáticas projetadas para o período chuvoso (outubro a março) no RCP 4.5 entre 2007 e 2040 (B) e 2041 e 2070 (C), e no RCP 8.5 entre 2007 e 2040 (D) e 2041 e 2070 (E) pelos modelos Eta-MIROC5 e Eta-HadGEM2-ES.

Na estação chuvosa de 1961-2005 (clima presente) as projeções dos modelos Eta-MIROC5 e Eta-HadGEM2-ES, mostram que, na maior parte do território tocantinense ocorrem temperaturas mínimas variando de 16,9 a 21,1 °C e de 18,6 a 22,7 °C, respectivamente. As menores temperaturas mínimas simuladas se dão no Sudeste do Estado.

As projeções de ambos modelos mostram possível aumento de temperatura de 2007 a 2040 (Figuras 21b e 21c) e de 2041 a 2070 (Figuras 21d e 21e), novamente com resultados mais severos simulados pelo Eta-HadGEM2-ES no RCP 8.5. De maneira geral, as projeções são de maiores aumentos da temperatura mínima principalmente nas regiões Central e Sudoeste.

A figura 22 apresenta a temperatura mínima, em °C, simulada pelos modelos Eta-MIROC5 e Eta-HadGEM2-ES para a estação seca (abril a setembro) no clima presente (1961-2005) e as mudanças projetadas para os períodos futuros de 2007 a 2040 e 2041 a 2070 nos RCPs 4.5 e 8.5.

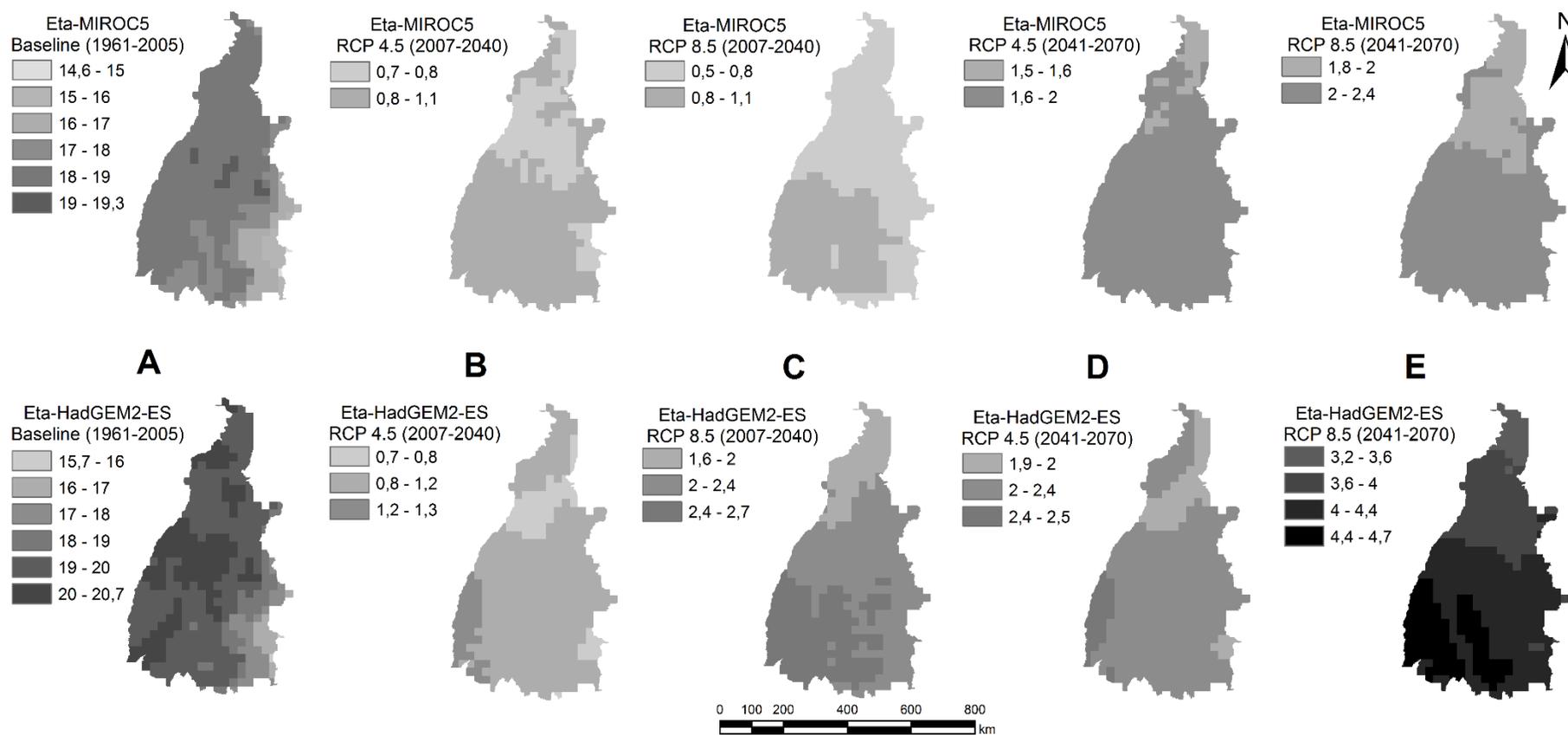


Figura 22: Temperatura mínima, em °C, simulada para o clima presente (A) e mudanças climáticas projetadas para o período seco (abril a setembro) no RCP 4.5 entre 2007 e 2040 (B) e 2041 e 2070 (C), e no RCP 8.5 entre 2007 e 2040 (D) e 2041 e 2070 (E) pelos modelos Eta-MIROC5 e Eta-HadGEM2-ES.

A temperatura mínima simulada para a estação seca do clima presente variou entre 14,6 e 19,3 °C e entre 15,7 e 20,7 °C para os modelos Eta-MIROC5 e Eta-HadGEM2-ES, respectivamente.

As projeções futuras mostram aumento das temperaturas mínimas no período de 2007 a 2040 (Figuras 22b e 22c) e de 2041 a 2070 (Figuras 22d e 22e) por ambos modelos. Para o RCP 8.5 o Eta-HadGEM2-ES simulou incrementos de até 2,7 °C (2007-2040) e 4,7°C (2041-2070). Para o modelo Eta-MIROC5 as projeções de aquecimento são substancialmente menores, não ultrapassando 2,4°C. Em relação à distribuição espacial, de maneira geral, ambos modelos e RCPs apresentam maiores mudanças simuladas para a região Sudoeste e Central do Estado do Tocantins. Verifica-se, novamente que o Eta-HadGEM2-ES e o RCP 8.5, apresentam cenários simulados mais severos quando comparados com o Eta-MIROC5 e o RCP 4.5, respectivamente.

A umidade relativa, em %, simulada pelos modelos Eta-MIROC5 e Eta-HadGEM2-ES para a estação chuvosa (outubro a março) no clima presente (1961-2005) e as mudanças projetadas para os períodos futuros de 2007 a 2040 e 2041 a 2070 nos RCPs 4.5 e 8.5 estão apresentadas na figura 23.

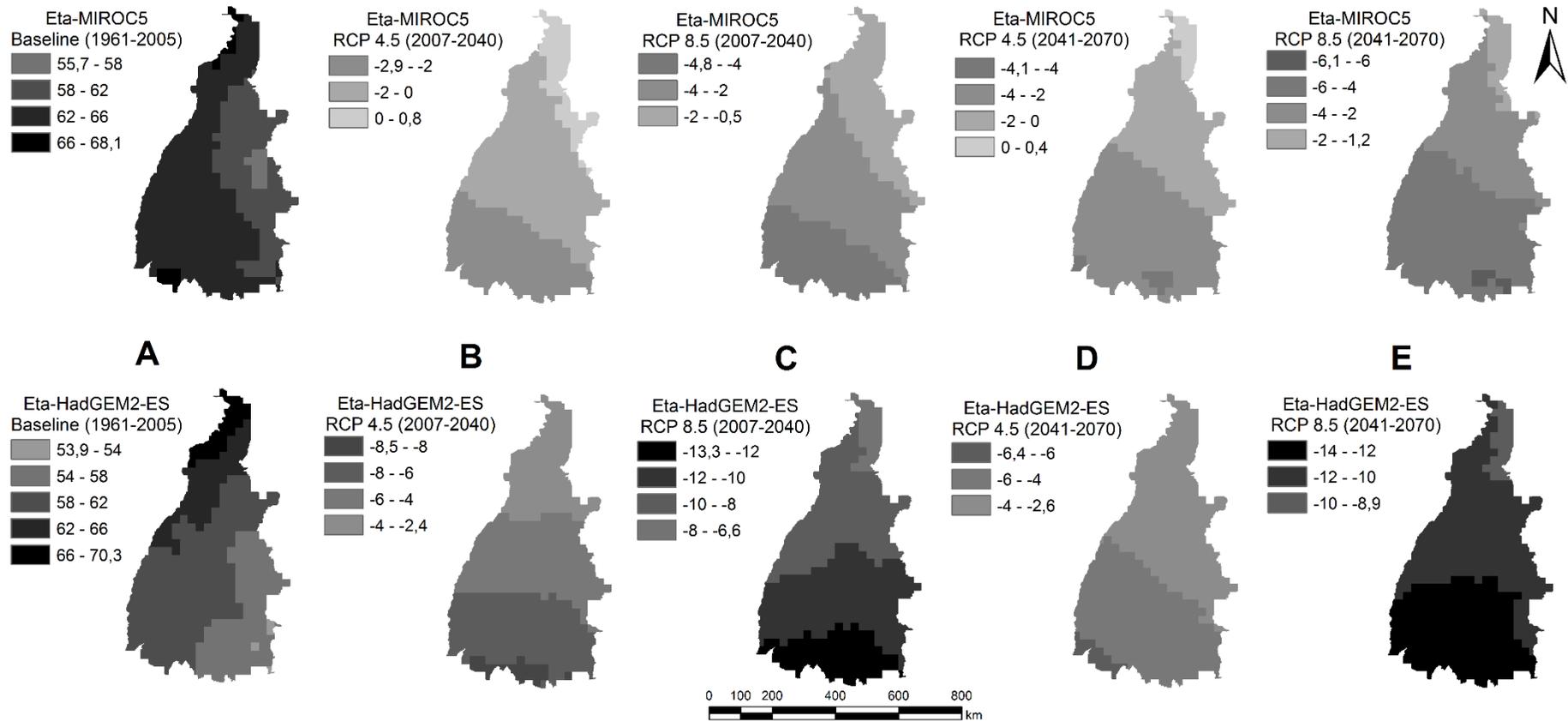


Figura 23: Umidade relativa, em %, simulada para o clima presente (A) e mudanças climáticas projetadas para o período chuvoso (outubro a março) no RCP 4.5 entre 2007 e 2040 (B) e 2041 e 2070 (C), e no RCP 8.5 entre 2007 e 2040 (D) e 2041 e 2070 (E) pelos modelos Eta-MIROC5 e Eta-HadGEM2-ES.

Na estação chuvosa do clima presente (Figura 23a), as maiores umidades relativas são simuladas para as regiões do Bico do Papagaio (extremo Norte) e Leste do Estado do Tocantins. Nota-se também que o Eta-MIROC5 simula maiores umidades ao longo do Estado, com exceção de uma pequena faixa da região Noroeste, para a qual o Eta-HadGEM2-ES simulou maiores umidades. Para o Eta-MIROC5 as umidades no período chuvoso variaram de 55,7 a 68,1%, enquanto que para o Eta-HadGEM2-ES estão entre 53,9 e 70,3%.

Na estação chuvosa de 2007-2040 (Figuras 23b e 23c), as simulações são de redução da umidade relativa, com exceção do Eta-MIROC5 no período de 2007-2040 no RCP 4.5, para o qual verificam-se aumentos de até 0,8% localizadas no extremo Norte do Estado. As projeções mais severas se deram para o Sul do Tocantins, apresentando gradiente decrescente em direção ao Norte. Em termos de modelos e RCPs, têm-se as simulações mais impactantes dadas pelo Eta-HadGEM2-ES no RCP 8.5, situação na qual as mudanças simuladas chegaram a até -13,3%. No próximo período futuro analisado, de 2041-2070 (Figuras 23d e 23e) as constatações referentes à distribuição espacial das mudanças projetadas e severidade dos modelos e RCPs se mantêm; entretanto, nesse período são simuladas mudanças ainda mais severas, chegando a -14%.

A figura 24 apresenta a umidade relativa, em %, simulada pelos modelos Eta-MIROC5 e Eta-HadGEM2-ES para a estação seca (abril a setembro) no clima presente (1961-2005) e as mudanças projetadas para os períodos futuros de 2007 a 2040 e 2041 a 2070 nos RCPs 4.5 e 8.5.

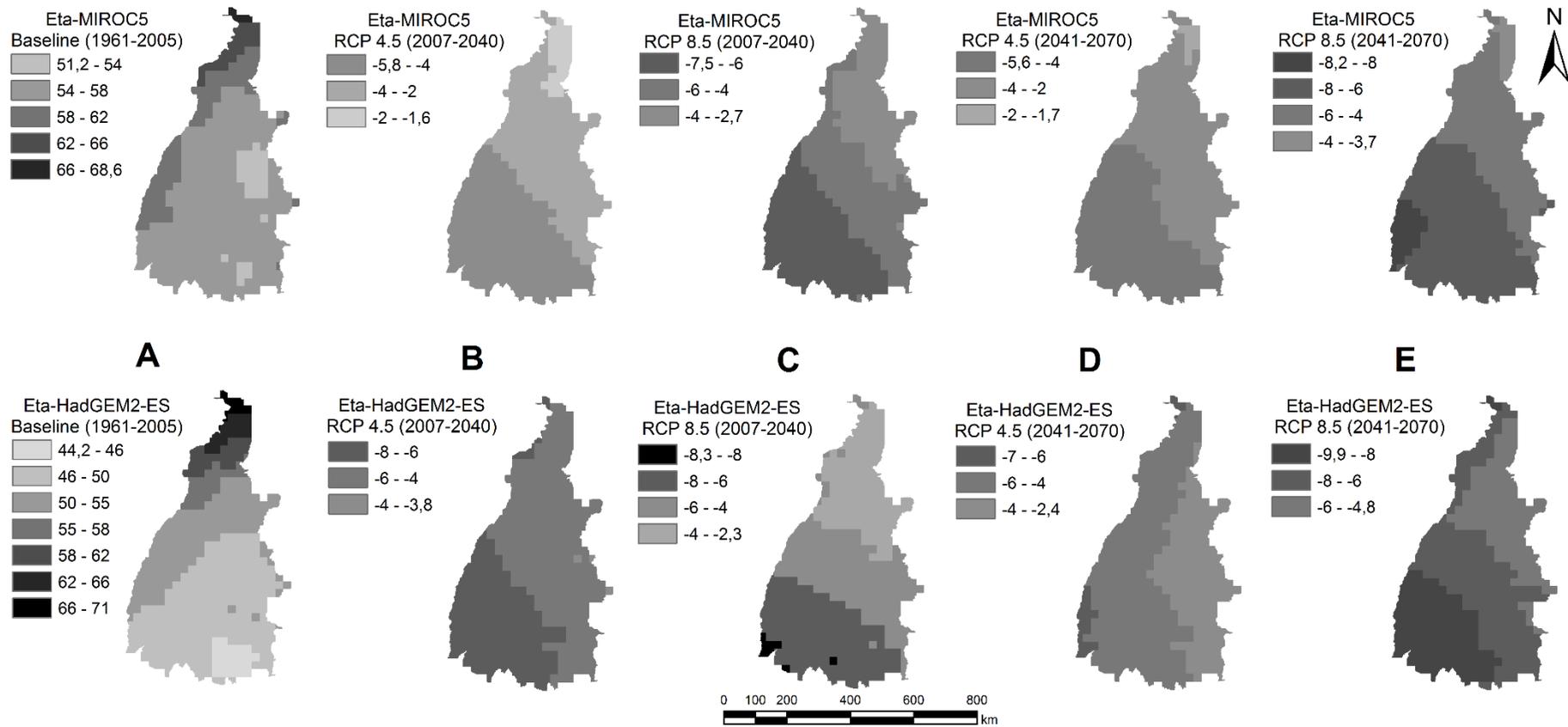


Figura 24: Umidade relativa, em %, simulada para o clima presente (A) e mudanças climáticas projetadas para o período seco (abril a setembro) no RCP 4.5 entre 2007 e 2040 (B) e 2041 e 2070 (C), e no RCP 8.5 entre 2007 e 2040 (D) e 2041 e 2070 (E) pelos modelos Eta-MIROC5 e Eta-HadGEM2-ES.

A umidade relativa na estação seca do clima presente (Figura 24a) apresenta maiores valores na região Norte, onde ocorre o bioma Amazônia, chegando a 68,6% (Eta-MIROC5) e 71% (Eta-HadGEM2-ES). Na área de ocorrência deste bioma a estação seca é amena, com maiores umidades, justificando os resultados simulados para essa região. Por outro lado, as menores umidades são simuladas para o Sudeste por ambos modelos, atingindo valores médios mínimos de 51,2% e 44,2% para os modelos Eta-MIROC5 e Eta-HadGEM2-ES, respectivamente.

Melo et al. (2012), em estudos para o Brasil no período de estiagem, verificaram que de acordo com as análises do NCEP, a umidade relativa apresentou os menores valores nas regiões Centro-Sul do Mato Grosso, Sudoeste do Tocantins e centro-oeste do Mato Grosso. Já para o ECHAM5, os menores valores foram encontrados na porção Centro-Leste do Tocantins, Centro-Sul do Pará e Centro-Norte do Mato Grosso.

As projeções futuras para a umidade relativa na estação seca (Figuras 24b, 24c, 24d e 24e) são de redução em comparação ao clima presente. As mudanças mais intensas foram simuladas para a região Sudoeste, com gradiente decrescente (em módulo) em direção ao Nordeste. As situações extremas (RCP 8.5) simuladas pelo Eta-MIROC5 e Eta-HadGEM2-ES foram de redução de até 8,2% e 9,9%, respectivamente. Klink e Moreira (2002), destacaram que a redução da umidade em período de seca pode corroborar para a ocorrência de queimadas, além de degradar a biota nativa, devido ao acúmulo de biomassa vegetal seca.

Na tabela 11 consta o resumo geral das mudanças climáticas estratificadas por regiões: Norte, Centro e Sul, nos períodos climáticos futuros (2007 a 2040 e 2041 a 2070) abrangendo os RCPs 4.5 e 8.5 para o Estado do Tocantins.

Tabela 11: Mudanças climáticas estratificadas por região nos períodos climáticos futuros (2007 a 2040 e 2041 a 2070) e RCPs 4.5 e 8.5 para o Estado do Tocantins

Região	Variável climática	Período climático futuro	
		2007-2040	2041-2070
Norte	Precipitação anual (mm)	-400 – 40,6	-462,1 – 27
	Evapotranspiração real (mm)	-180 – 2,6	-180 – 12,6
	Temperatura máxima anual (°C)	0,6 – 3,2	1,5 – 5,8
	Temperatura média anual (°C)	0,7 – 2,4	1,5 – 4,4
	Temperatura mínima anual (°C)	0,5 – 2,4	1,4 – 4,4
	Umidade relativa anual (%)	-10 – 0,8	-10 – 0,4

(continua...)

Tabela 11: Mudanças climáticas estratificadas por região nos períodos climáticos futuros (2007 a 2040 e 2041 a 2070) e RCPs 4.5 e 8.5 para o Estado do Tocantins (continuação)

Região	Variável climática	Período climático futuro	
		2007-2040	2041-2070
Central	Precipitação anual (mm)	-527,5 – 40,6	-462,1 – 27
	Evapotranspiração real (mm)	-210 – 2,6	-198,1 – 12,6
	Temperatura máxima anual (°C)	0,6 – 3,6	1,6 – 5,6
	Temperatura média anual (°C)	0,7 – 2,8	1,5 – 4,8
	Temperatura mínima anual (°C)	0,5 – 2,7	1,4 – 4,7
	Umidade relativa anual (%)	-12 – 0,8	-14 – 0
Sul	Precipitação anual (mm)	-527,5 – 40,6	-462,1 – 27
	Evapotranspiração real (mm)	-213,3 – 0	-198,1 – 12,6
	Temperatura máxima anual (°C)	0,8 – 3,9	1,6 – 5,8
	Temperatura média anual (°C)	0,8 – 3	1,6 – 4,9
	Temperatura mínima anual (°C)	0,5 – 2,7	1,6 – 4,7
	Umidade relativa anual (%)	-13,3 – 0	-14 – -2

Em relação a precipitação anual, as maiores reduções simuladas no período de 2007 a 2040 foram para as regiões Sul e Central do Tocantins (-527,5mm). Para esse período, na região Sul é projetada a mudança mais severa, tendo-se em vista que nesta região a classe de maiores mudanças cobre a maior área (58,9%). Já para o período de 2041 a 2070, os valores extremos são iguais nas três regiões em estudo (-462,1mm). Contudo, embora ocorram pixels com tais valores extremos nas três regiões, as áreas ocupadas pelas classes das mudanças mais severas são restritas nas regiões Norte e Central, ao passo que na região Sul esta classe é predominante, abrangendo 61,3% das mudanças climáticas extremas.

Para evapotranspiração real foram obtidas projeções mais severas para a região Sul no período de 2007 a 2040, com redução de até 213,3 mm. Por outro lado, os resultados mais extremos no período de 2041 a 2070 foram simulados nas regiões Sul e Central (-198,1 mm). Entretanto, quando se analisa a abrangência da classe de mudanças extremas nos mapas, observa-se que a região Sul é a que poderá ser mais afetada, uma vez que tal classe ocupa maior área (90,6%) nesta região.

Analisando a temperatura máxima anual, verificou-se que o maior aquecimento simulado no período de 2007 a 2040 foi para a região Sul do Estado, onde se encontra a UHE Peixe/Angical e Sul da Ilha do Bananal. Os menores valores simulados foram nas regiões Norte e Central, especificamente, na região do Bico do Papagaio e ao Norte do Parque Estadual do Jalapão. Já para o período de 2041 a 2070, são projetadas maiores temperaturas nas regiões Norte e Sul, com aumento de

até 5,8 °C. Para esse período futuro a região mais afetada é a Sudoeste do Tocantins, na qual a classe de maiores mudanças climáticas ocupa maior parte do mapa.

Para a temperatura média anual as projeções mais preocupantes foram para a região Sul do Estado em ambos os períodos climáticos futuros. Simularam-se incrementos de até 3°C (2007-2040) e 4,9°C (2041-2070), especificamente para o extremo Sudoeste do Estado onde se encontra a Terra Indígena do Araguaia e Sul do Parque Nacional do Araguaia.

Já para a temperatura mínima, as projeções mais severas foram para as regiões Sul e Central em ambos os períodos climáticos futuros. Destaca-se projeções mais severas nas localidades da Ilha do Bananal, UHE Peixe/Angical e proximidades da APA Serra do Lajeado e APA Lago de Palmas.

Em relação a umidade relativa, as simulações mais impactantes ocorreram na região Sul do Tocantins em ambos os períodos climáticos futuros, com reduções simuladas de até 13,3% (2007-2040) e 14% (2041-2070). A área de abrangência da classe de mudanças mais severas ocupa 56% (2007-2040) e 86,9% (2041-2070) da região

Em síntese, há uma concordância nas projeções dos dois modelos climáticos regionais avaliados. Projeta-se aumento da temperatura e redução da precipitação para o século XXI no Estado do Tocantins nos RCPs 4.5 e 8.5, sobretudo no final da década de 2070. Um dos impactos ambientais esperados em tal situação de mudança climática é a intensificação do déficit hídrico. Tal impacto tende a atuar diretamente sobre a produção de água nas bacias hidrográficas e também sobre a vegetação. Neste sentido, dada a importância hídrica e biológica do bioma Cerrado, as projeções climáticas produzidas por Chou et al. (2014b), evidenciam a necessidade de elaboração de políticas públicas que subsidiem a prevenção e mitigação dos impactos de possíveis mudanças climáticas futuras no Estado do Tocantins. Ressalta-se que se mostra necessário a continuidade de pesquisas visando quantificar as mudanças climáticas e seus impactos sobre o Estado do Tocantins e o bioma Cerrado. Nestes estudos, identificam-se aqui como temas prioritários a análise de mudanças climáticas sazonais, aplicação de um maior número de modelos e cenários climáticos. Recomenda-se também o desenvolvimento de estudos futuros com resultados de modelos climáticos que passaram pela correção de erros sistemáticos.

3.4 CONCLUSÕES

As mudanças climáticas de precipitação apresentaram maiores reduções simuladas pelo modelo Eta-HadGEM2-ES, RCP 8.5, para o período chuvoso (outubro a março), na região Centro-Sul do Tocantins, nas proximidades da UHE Peixe/Angical. Já no período seco (abril a setembro), o modelo Eta-MIROC5 obteve maiores reduções, principalmente para a região do Bico do Papagaio.

A análise de mudanças climáticas para temperatura (máxima, média e mínima) mostrou projeções mais severas pelo modelo climático regional Eta-HadGEM2-ES. As projeções deste modelo foram de maiores temperaturas sobretudo na região Sul da Ilha do Bananal e APA dos Meandros do rio Araguaia. Para a temperatura máxima, nesta situação, o incremento chegou a 5,8 °C no RCP 8.5 no final da década de 2070.

Novamente, o modelo regional Eta-HadGEM2-ES RCP 8.5 foi o que obteve maior grau de severidade para evapotranspiração real e umidade relativa, no qual as maiores reduções no período de estiagem para evapotranspiração real foram simuladas em sua maior parte na região do Parque Nacional do Araguaia, Terra Indígena Parque do Araguaia e APA dos Meandros do Rio Araguaia. Assim como nas simulações de temperatura, a umidade relativa apresentou situações extremas de redução ao Sudoeste do Tocantins.

Conclui-se que é necessária a formulação e implementação de políticas públicas estaduais visando a prevenção e mitigação de possíveis impactos decorrentes de mudanças climáticas futuras. É fundamental a realização de estudos, pesquisas e capacitação nos assuntos relacionados às mudanças do clima, objetivando atender ao desenvolvimento sustentável do Estado do Tocantins.

3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BLACK, T. L. The new NMC mesoscale Eta model. Description and forecast examples. **Weather and Forecasting**. v. 9, n. 2, p. 265-278, jun. 1994.

BOWMAN, D. M. J. S.; BALCH, J. K.; ARTAXO, P.; BOND, W. J.; CARLSON, J. M.; COCHRANE, M. A.; D'ANTONIO, C. M.; DEFRIES, R. S.; DOYLE, J. C.; HARRISON, S. P.; JOHNSTON, F. H.; KEELEY, J. E.; KRAWCHUK, M. A.; KULL, C. A.; MARSTON, J. B.; MORITZ, M. A.; PRENTICE, I. C.; ROOS, C. I.; SCOTT, A. C.; SWETNAM, T. W.; VAN DER WERF, G. R.; PYNE, S. J. Fire in the Earth System. **Science**. v. 324, n. 5926, p. 481-484, abr. 2009.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção**. Brasília, DF, v. 1, parte 2, p. 39-155. 2012.

CABRÉ, M. F.; SOLMAN, S.; NUÑEZ, M. Creating regional climate change scenarios over southern South America for the 2020's and 2050's using the pattern scaling technique: validity and limitations. **Climatic Change**, v. 98, n. 3-4, p. 449–469, fev. 2010.

CHOU, S. C.; LYRA, A.; MOURÃO, C.; DEREZYNSKI, C.; PILOTTO, I.; GOMES, J.; BUSTAMANTE, J.; TAVARES, P.; SILVA, A.; RODRIGUES, D.; CAMPOS, D.; SUEIRO, G.; SIQUEIRA, G.; NOBRE, P.; MARENGO, J. Evaluation of the Eta simulations nested in three global climate models. **American Journal of Climate Change**, v. 3, n. 5, p. 438-454, dez. 2014a.

CHOU, S. C.; LYRA, A.; MOURÃO, C.; DEREZYNSKI, C.; PILOTTO, I.; GOMES, J.; BUSTAMANTE, J.; TAVARES, P.; SILVA, A.; RODRIGUES, D.; CAMPOS, D.; CHAGAS, D.; SUEIRO, G.; SIQUEIRA, G. MARENGO, J. Assessment of climate change over South America under RCP 4.5 and 8.5 downscaling scenarios. **American Journal of Climate Change**, v. 3, p. 512-525, dez. 2014b.

COLLINS, W. J.; BELLOUIN, N.; DOUTRIAUX-BOUCHER, M.; GEDNEY, N.; HALLORAN, P.; HINTON, T.; HUGHES, J.; JONES, C. D.; JOSHI, M.; LIDDICOAT, S.; MARTIN, G.; O'CONNOR, F.; RAE, J.; SENIOR, C.; SITCH, S.; TOTTERDELL, I.; WILTSHIRE, A.; WOODWARD, S. Development and Evaluation of an Earth-System Model-HadGEM2. **Geoscientific Model Development**, v. 4, n. 4, p. 1051-1075, nov. 2011.

COLLINS, M.; KNUTTI, R.; ARBLASTER, J. M.; DUFRESNE, J-L.; FICHEFET, T.; FRIEDLINGSTEIN, P.; GAO, X.; GUTOWSKI, W. J.; JOHNS, T.; KRINNER, G.; SHONGWE, M.; TEBALDI, C.; WEAVER, A. J.; WEHNER, M. Long-term climate change: projections, commitments and irreversibility. In: **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 University Press, Cambridge. p. 1029-1136, 2013.

COX P. M.; BETTS R. A.; COLLINS, M.; HARRIS, P. P.; HUNTINGFORD, C.; JONES C. D. Amazonian forest dieback under climate-carbon cycle projections for the 21st century. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 78, n. 1-3, p. 137–156, jun. 2004.

CUBASCH, U.; WUEBBLES, D.; CHEN, D.; FACCHINI, M. C.; FRAME, D.; MAHOWALD, N.; WINTHER, J-G. Introduction. In: **Climate Change 2013: 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 University Press, Cambridge. p. 119-158, 2013.

DELAZERI, L. M. M. **Mudanças climáticas e migração rural-urbana no Semiárido brasileiro.** 2015. 73 f. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.

EVANGELISTA, L. B. **Relações socioeconômicas e ambientais no Cerrado: o cenário goiano.** 2016. 50 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Saúde) - Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2016.

FELFILI, J. M.; SILVA-JUNIOR, M. C.; SEVILHA, A. C.; FAGG, C. W.; WALTER, B. M. T.; NOGUEIRA, P. E.; REZENDE, A. V. Diversity, floristic and structural patterns of cerrado vegetation in Central Brazil. **Plant Ecology**, v. 175, n. 1, p. 37-46, jul. 2004.

FRANÇOSO, R. D; HAIDAR, R. F; MACHADO, R. B. Tree species of South America central savanna: endemism, marginal areas, the relationship with other biomes. **Acta Botanica Brasilica**, v. 30, n. 1, p. 78–86, jan-mar.2016.

GOLDING, N.; BETTS R. Fire risk in Amazonia due to climate change in the HadCM3 climate model: Potential interactions with deforestation. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 22, n. 4, GB4007, 2008.

HASUMI, H. **CCSR Ocean Component Model (COCO), version 4.0.** Center for Climate System Research Rep. 25, 2006, 103 p. Disponível em: < <http://ccsr.aori.u-tokyo.ac.jp/~hasumi/COCO/coco4.pdf>> Acesso em: 12 nov. 2016.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa dos biomas do Brasil.** Escala 1: 5.000.000. 2004. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/biomas2/viewer.htm>>. Acesso em: 23 nov. 2016.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estados@ Tocantins.** 2016. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=to>>. Acesso em: 15 jul. 2017.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **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 University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013, 1535 p.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007, 996 p.

JOETZJER, E.; DOUVILLE, H.; DELIRE, C.; CIAIS, P. Present-day and future Amazonian precipitation in global climate models: CMIP5 versus CMIP3. **Climate Dynamics**, v. 41, n. 11-12 p. 2921-2936, 2013.

JONES, C.; CARVALHO, L. M. V. Climate Change in the South American Monsoon System: Present Climate and CMIP5 Projections. **Journal of Climate**, v. 26, n. 17, p. 6660-6678, mar. 2013.

KLINK, C. A.; MOREIRA, A. G. Past and current human occupation, and land use. In: Oliveira, p.S.; Marquis, R.J. (eds.) **The Cerrados of Brazil: ecology and natural history of Neotropical savanna.** New York: Columbia University Press, cap. 5, p. 69-90, 2002.

LIMA, J. E. F. W.; SILVA, E. M. **Estimativa da contribuição hídrica superficial do Cerrado para as grandes regiões hidrográficas brasileiras.** In: Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2007, São Paulo: ABRH, 2007.

LIMA, J. E. F. W. Situação e Perspectivas Sobre as Águas do Cerrado. **Ciência e Cultura**, v. 63, n. 3, p. 27-29, jul. 2011.

LYRA, A. A. **Estudo de vulnerabilidade do bioma Amazônia aos cenários de mudanças climáticas.** 2015. 128 f. Tese (Doutorado em Ciência do Sistema Terrestre) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, 2015.

MALHI, Y., ARAGAO, L. E. O. C., GALBRAITH, D., HUNTINGFORD, C., FISHER, R., ZELAZOWSKI, P., ... MEIR, P. Exploring the likelihood and mechanism of a climate-change-induced dieback of the Amazon rainforest. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America - PNAS**, v. 106, n. 49, p. 20610-20615, 2009.

MARENGO, J. A.; CHOU, S. C.; KAY, G.; ALVES, L. M.; PESQUERO, J. F.; SOARES, W. R.; SANTOS, D. C.; LYRA, A. A.; SUEIRO, G.; BETTS, R.; CHAGAS, D. J.; GOMES, J. L.; BUSTAMANTE, J. F.; TAVARES P. Development of regional future climate change scenarios in South America using the Eta CPTEC/HadCM3 climate change projections: Climatology and regional analyses for the Amazon, São Francisco and the Paraná River Basins. **Climate Dynamics**, v. 38, n. 9-10, p. 1829-1848, 2012.

MARTIN, G. M.; BELLOUIN, N.; COLLINS, W. J.; CULVERWELL, I. D.; HALLORAN, P. R.; HARDIMAN, S. C.; HINTON, T. J.; JONES, C. D.; MCDONALD, R. E.; MCLAREN, A. J.; O'CONNOR, F. M.; ROBERTS, M. J.; RODRIGUEZ, J. M.; WOODWARD, S.; BEST, M. J.; BROOKS, M. E.; BROWN, A. R.; BUTCHART, N.; DEARDEN, C.; DERBYSHIRE, S. H.; DHARSSI, I.; DOUTRIAUX-BOUCHER, M.; EDWARDS, J. M.; FALLOON, P.D.; GEDNEY, N.; GRAY, L. J.; HEWITT, H. T.; HOBSON, M.; HUDDLESTON, M. R.; HUGHES, J.; INESON, S.; INGRAM, W. J.; JAMES, P. M.; JOHNS, T. C.; JOHNSON, C. E.; JONES, A.; JONES, C. P.; JOSHI, M. M.; KEEN, A. B.; LIDDICOAT, S.; LOCK, A. P.; MAIDENS, A. V.; MANNERS, J. C.; MILTON, S. F.; RAE, J. G. L.; RIDLEY, J. K.; SELLAR, A.; SENIOR, C. A.; TOTTERDELL, I. J.; VERHOEF, A.; VIDALE, P. L.; WILTSHIRE A. The HadGEM2 family of Met Office Unified Model climate configurations. **Geoscientific Model Development**, v. 4, n. 3, p. 723-757, set. 2011.

MELO, A. S.; JUSTINO, F. B.; MELO, E. C. S.; SILVA, T. L. V. Índices de risco de fogo de haines e setzer em diferentes condições climáticas. **Mercator**, Fortaleza, v. 11, n. 24, p. 187-207, jan./abr. 2012.

MENDONÇA, R. C.; FELFILI, J. M.; WALTER B. M. T.; SILVA JÚNIOR, M. C.; REZENDE, A. V.; FILGUEIRAS, T. S.; NOGUEIRA, P. E.; FAGG, C. W. **Flora Vascular do bioma Cerrado: checklist com 12.356 espécies**. In Cerrado: ecologia e flora (SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P; RIBEIRO, J. F. EDS.). Embrapa Cerrados, Planaltina, p.421-1279, 2008.

MENÉNDEZ, C. G.; DE CASTRO, M.; BOULANGER J. -P.; D'ONOFRIO, A.; SANCHEZ, E.; SÖRENSSON, A. A.; BLAZQUEZ, J.; ELIZALDE, A.; JACOB, D.; LE TREUT, H.; LI, Z. X.; NUÑEZ, M. N.; PESSACG, N.; PFEIFFER, S.; ROJAS, M.; ROLLA, A.; SAMUELSSON, P.; SOLMAN, S. A.; TEICHMANN, C. Downscaling extreme month-long anomalies in southern South America. **Climatic Change**, v. 98, n. 3-4, p.379-403, fev. 2010.

MESINGER, F.; CHOU, S. C.; GOMES, J. L.; JOVIC, D.; BASTOS, P. R.; BUSTAMANTE, J. F.; LAZIC, L.; LYRA, A. A.; MORELLI, S.; RISTIC, I.; VELJOVIC, K. An upgraded version of Eta Model. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v. 116, n. 3, p. 63-79, mai. 2012.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. **Monitoramento do desmatamento nos biomas brasileiros por satélite: Monitoramento do Bioma Cerrado**. Secretaria de Biodiversidade e Florestas, IBAMA, Brasília. 2011. 65 p.

MOSS, R. H.; EDMONDS, J. A.; HIBBARD, K. A.; MANNING, M. R.; ROSE, S.K.; VAN VUUREN, D. P.; CARTER, T. R.; EMORI, S.; KAINUMA, M.; KRAM, T.; MEEHL, G. A.; MITCHELL, J. F.; NAKICENOVIC, N.; RIAHI, K.; SMITH, S. J.; STOUFFER, R. J.; THOMSON, A. M.; WEYANT, J. P.; WILBANKS, T. J. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. **Nature**, v. 463, n. 7282, p. 747–756, fev. 2010.

NOBRE, C. A. Mudanças climáticas globais: Possíveis impactos nos ecossistemas do País. **Parcerias Estratégicas**, n. 12, p. 239-258, set. 2001.

PBMC. Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. **Base científica das mudanças climáticas**. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas [Ambrizzi, T., Araujo, M. (eds.)]. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2014, 464 p.

RIAHI, K.; RAO, S.; KREY, V.; CHO, C.; CHIRKOV, V.; FISCHER, G.; RAFAJ, P. RCP8.5 - A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions. **Climatic Change**, v. 109, n. 1, p. 33–57, nov. 2011.

SANTIAGO, G. A. C. F.; GIAROLLA, A.; RANDOW, C. V.; MENEZES, R. S. C.; OMETTO, J. P. H. B.; NÓBREGA, R. S. Avaliação de destreza e das projeções do cenário de mudanças climáticas A1B-ETA-HADCM3 para o Estado de Pernambuco. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 33, n. 2, p. 29-45, 2016.

SENEVIRATNE, S.; NICHOLLS, N.; EASTERLING, D.; GOODESS, C.; KANAE, S.; KOSSIN, J.; LUO, Y.; MARENGO, J.; MCINNES, K.; RAHIMI, M.; REICHSTEIN, M.; SORTEBERG, A.; VERA, C.; ZHANG, X. Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment: An overview of the IPCC SREX report. In: **Intergovernmental Panel on Climate Change Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation**. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA; 2012.

SEPLAN. Secretaria do Planejamento e da Modernização da Gestão Pública. **Atlas do Tocantins: subsídios ao planejamento da gestão territorial**. 2012. Disponível em: <http://web.seplan.to.gov.br/Arquivos/download/ZEE/TO_AtlasTocantins2012/Atlas_do_Tocantins_2012.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2016.

SILVEIRA; C. S. SOUZA FILHO; F. A., COSTA, A. A.; CABRAL, S. L. Avaliação de desempenho dos modelos do CMIP5 quanto à representação dos padrões de variação da precipitação no século XX sobre a região nordeste do Brasil, Amazônia e bacia do Prata e análise das projeções para o cenário RCP8.5. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 3, p. 317-330, 2013.

SILVEIRA, C. S.; SOUZA FILHO, F. A.; MARTINS, E. S. P. R., OLIVEIRA, J. L.; COSTA, A. C.; NOBREGA, M. T.; SOUZA, S. A.; SILVA, R. F. V. Mudanças climáticas na bacia do rio São Francisco: Uma análise para precipitação e temperatura. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 21, n. 2, p. 416 – 428, 2016.

SOUSA, F. H. M. **Regionalização climática de Thorntwhaite e Mather para o Estado do Tocantins**. 2016. 113 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) - Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, TO, 2016.

THOMSON, A. M; CALVIN, K. V; SMITH, S. J; KYLE, G. P; VOLKE, A; PATEL, P.; DELGADO-ARIAS, S.; BOND-LAMBERTY, B.; WISE, M. A.; CLARKE, L. E.; EDMONDS, J. A. RCP 4.5: a pathway for stabilization of radiative forcing by 2100. **Climatic Change**, v. 109, n.1, p. 77–94, nov. 2011.

WATANABE, M.; SUZUKI, T.; O'ISHI, R.; KOMURO, Y.; WATANABE, S.; EMORI, S.; TAKEMURA, T.; CHIKIRA, M.; OGURA, T.; SEKIGUCHI, M.; TAKATA, K.; YAMAZAKI, D.; YOKOHATA, T.; NOZAWA, T.; HASUMI, H.; TETEBE, H.; KIMOTO, M. Improved climate simulation by MIROC5: mean states, variability, and climate sensitivity. **Journal of Climate**, v. 23, n. 23. p. 6312–6335, dez. 2010.

VAN VUUREN, D. P.; KAINUMA, M.; RIAHI, K.; THOMSON, A.; HIBBARD, K.; HURTT, G. C.; RAM, T.; KREY, V.; LAMARQUE, J.; MASUI, T.; MEINSHAUSEN, M.; NAKICENOVIC, N.; SMITH, S. J.; ROSE, S. K. The representative concentration pathways: An overview. **Climate Change**, v. 109, n. 1-2, p. 5-31, nov. 2011.

VIOLA, M. R.; AVANZI, J. C.; MELLO, C. R.; LIMA, S. O.; ALVES, M. V. G. Distribuição e potencial erosivo das chuvas no Estado do Tocantins. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 2, p. 125-135, fev. 2014.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos desenvolvidos de mudanças climáticas para o Estado do Tocantins mostraram melhor desempenho do modelo Eta-MIROC5 nas simulações de precipitação total anual e umidade relativa anual, enquanto que o modelo Eta-HadGEM2-ES apresentou melhor qualidade nas simulações de temperatura (máxima, média e mínima).

Considerando o mapeamento de mudanças climáticas de precipitação, verificou-se maiores reduções simuladas pelo modelo Eta-HadGEM2-ES, RCP 8.5 (-462,1 mm), para o período chuvoso (outubro a março), na região Centro-Sul do Tocantins, nas proximidades da UHE Peixe/Angical. Já no período seco (abril a setembro), o modelo Eta-MIROC5 obteve maiores reduções (-203 mm), principalmente para a região do Bico do Papagaio.

As projeções mais severas para temperatura máxima, média e mínima foram simuladas pelo modelo Eta-HadGEM2-ES, com incremento de 5,8, 4,9 e 4,7 °C, respectivamente. As projeções deste modelo foram de maiores temperaturas sobretudo na região Sul da Ilha do Bananal e APA dos Meandros do rio Araguaia.

Constata-se a necessidade de elaboração e criação de políticas públicas no Estado do Tocantins objetivando a mitigação e prevenção de impactos resultantes de mudanças climáticas futuras. Além disso, é indispensável a realização de estudos relacionados às mudanças climáticas visando o desenvolvimento sustentável do Estado.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHOU, S. C.; MARENGO, J. A.; LYRA, A. A.; SUEIRO, G.; PESQUERO, J. F.; ALVES, L. M.; KAY, G.; BETTS, R.; CHAGAS, D. J.; GOMES, J. L.; BUSTAMANTE, J. F. TAVARES, P. Downscaling of South America present climate driven by 4-member HadCM3 runs. **Climate Dynamics**, v. 38, n. 3-4, p. 635-653, 2012.

CHOU, S. C.; LYRA, A.; MOURÃO, C.; DEREZYNSKI, C.; PILOTTO, I.; GOMES, J.; BUSTAMANTE, J.; TAVARES, P.; SILVA, A.; RODRIGUES, D.; CAMPOS, D.; SUEIRO, G.; SIQUEIRA, G.; NOBRE, P.; MARENGO, J. Evaluation of the Eta simulations nested in three global climate models. **American Journal of Climate Change**, v. 3, n. 5, p. 438-454, dez. 2014a.

CHOU, S. C.; LYRA, A.; MOURÃO, C.; DEREZYNSKI, C.; PILOTTO, I.; GOMES, J.; BUSTAMANTE, J.; TAVARES, P.; SILVA, A.; RODRIGUES, D.; CAMPOS, D.; CHAGAS, D.; SUEIRO, G.; SIQUEIRA, G. MARENGO, J. Assessment of climate change over South America under RCP 4.5 and 8.5 downscaling scenarios. **American Journal of Climate Change**, v. 3, p. 512-525, dez. 2014b.

COLLINS, W. J.; BELLOUIN, N.; DOUTRIAUX-BOUCHER, M.; GEDNEY, N.; HALLORAN, P.; HINTON, T.; HUGHES, J.; JONES, C. D.; JOSHI, M.; LIDDICOAT, S.; MARTIN, G.; O'CONNOR, F.; RAE, J.; SENIOR, C.; SITCH, S.; TOTTERDELL, I.; WILTSHIRE, A.; WOODWARD, S. Development and Evaluation of an Earth-System Model-HadGEM2. **Geoscientific Model Development**, v. 4, n. 4, p. 1051-1075, nov. 2011.

EVANGELISTA, L. B. **Relações socioeconômicas e ambientais no Cerrado: o cenário goiano**. 2016. 50 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Saúde) - Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2016.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa dos biomas do Brasil**. Escala 1: 5.000.000. 2004. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/biomas2/viewer.htm> >. Acesso em: 23 nov. 2016.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa dos biomas do Brasil**. Escala 1: 5.000.000. 2004. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/biomas2/viewer.htm> >. Acesso em: 23 nov. 2016.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **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 University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013, 1535 p.

MESINGER, F.; JANJIC, Z. I.; NICKOVIC, S.; GAVRILOV, D.; DEAVEN, D. G. The stepmountain coordinate: Model description and performance for cases of Alpine lee cyclogenesis and for a case of Appalachian redevelopment. **Monthly Weather Review**, v. 116; p. 1493-1518, 1988.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Monitoramento do desmatamento nos biomas brasileiros por satélite**. Monitoramento do bioma Cerrado. 2011.

Disponível em:

<http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf_chm_rbbio/_arquivos/relatoriofinal_cerrado_2010_final_72_1.pdf>. Acesso em: 01 fev. 2017.

SEPLAN. Secretaria do Planejamento e da Modernização da Gestão Pública. **Atlas do Tocantins: subsídios ao planejamento da gestão territorial**. 2012. Disponível em:

<http://web.seplan.to.gov.br/Arquivos/download/ZEE/TO_AtlasTocantins2012/Atlas_do_Tocantins_2012.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2016.

SEPLAN. Secretaria de Planejamento e da Modernização da Gestão Pública. **Mapeamento das regiões fitoecológicas e inventário florestal do Estado do Tocantins. Regiões fitoecológicas da faixa centro**. *Escala 1:100.000*. 2013.

Disponível em:

<http://web.seplan.to.gov.br/Arquivos/download/ZEE/TO_Rel_Mapeamento_Regioes_Fitoecologicas_Inventario_Florestal/Rel_Regioes_Fitoecologicas_Faixa_Centro_TO_vol1.pdf> Acesso em: 07 jul. 2017.

SILVA, F. A. M. da; et al. Caracterização climática do bioma Cerrado. In: SANO, S. M., et al (Org). Cerrado: ecologia e flora. Vol. 1. Brasília-DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008, cap. 3.