

**Universidade Federal do Tocantins**

**EFEITO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO ZONEAMENTO  
AGROCLIMÁTICO PARA CULTURA DO EUCALIPTO (*Eucalyptus  
urograndis*) NO ESTADO DO TOCANTINS**

**Murilo de Pádua Marcolini**

**Dissertação apresentada para obtenção do  
título de Mestre em Agroenergia**

**Palmas - TO**

**2014**

**Murilo de Pádua Marcolini**

**EFEITO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO ZONEAMENTO  
AGROCLIMÁTICO PARA CULTURA DO EUCALIPTO (*Eucalyptus  
urograndis*) NO ESTADO DO TOCANTINS**

**Orientador.**

**Prof. Dr. Erich Collicchio**

**Coorientadora.**

**Prof. Dra. Maria Inês Ramos Azevedo**

**Dissertação apresentada para obtenção do  
título de Mestre em Agroenergia**

**Palmas - TO**

**2014**

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

---

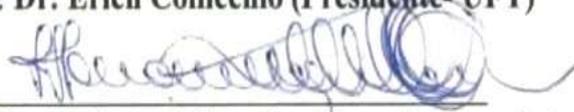
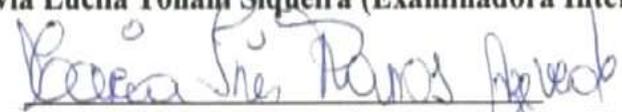
- M321e Marcolini, Murilo de Pádua .  
EFEITO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO ZONEAMENTO  
AGROCLIMÁTICO PARA CULTURA DO EUCALIPTO (*Eucalyptus*  
*urograndis*) NO ESTADO DO TOCANTINS. / Murilo de Pádua Marcolini. –  
Palmas, TO, 2014.  
93 f.
- Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do Tocantins  
– Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) em  
Agroenergia, 2014.  
Orientador: Erich Collicchio
1. *Eucalyptus urograndis*. 2. Aptidão climática. 3. Agroenergia. 4.  
Aquecimento global. I. Título

**CDD 333.7**

---

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).**

**FOLHA DE APROVAÇÃO****Murilo de Pádua Marcolini****EFEITO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO ZONEAMENTO  
AGROCLIMÁTICO PARA CULTURA DO EUCALIPTO (*Eucalyptus  
urograndis*) NO ESTADO DO TOCANTINS****DATA DA DEFESA: 03/11/2014**  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Erich Collicchio (Presidente - UFT)**  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Flávia Lucila Tonani Siqueira (Examinadora Interno - UFT)**  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Maria Inês Ramos Azevedo (Examinadora Externa)****Palmas - TO****2014**

Dedico

Aos meus pais, Marcio e Juracy,  
as minhas irmãs Flavia e Bruna,  
minha sobrinha e afilhada Ana Luiza  
e à minha mulher Izabella.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus antes de tudo.

Ao meu orientador e amigo Erich Collicchio, pela não só excelente orientação mas também pelos conselhos e ensinamentos que levarei para o resto de minha vida.

Minha grande Coorientadora, Maria Inês Ramos Azevedo, pelo incentivo e suporte em todos os momentos.

À minha família pelo carinho e apoio incondicional.

Aos meus grandes amigos que colaboraram com o desenvolvimento desse trabalho, o Engenheiro Valtercris Rodrigues, Eng<sup>a</sup>. Izabella Downar, Economista e Engenheiro Ygor Freitas, Eng. Olíria Souza, Eng. Wallace Aniszewski e a Bióloga Flavia Marcolini,

A todos professores e colaboradores do Programa de Mestrado em Agroenergia da UFT, que contribuíram com suas experiências para esse trabalho.

Aos meus amigos de luta, Lázaro Cruz, Hider Cordeiro, Thiago Valuá, Lucas Bandeira.

Ao professor Alan Barbiero, por sua amizade e seus ensinamentos.

A todos colegas adquiridos da Universidade Federal do Tocantins.

A minha mulher Izabella Downar, Engenheira e futura Advogada, pelo apoio e estímulo gerado para execução desse trabalho.

Ao pesquisador, Daniel Victória, da Embrapa de Campinas – SP, que nos recebeu muito bem em sua cidade e contribuiu muito para o desenvolvimento desse projeto.

Ao coordenador, Paulo Augusto Barros de Sousa, da Coordenação de Zoneamento Ecológico Econômico da Secretaria de Planejamento do Estado do Tocantins, pelo auxílio neste trabalho.

Aos amigos da Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Estado do Tocantins, que muito me apoiaram e ajudaram para a concretização desse sonho.

O temor do Senhor  
é o princípio da sabedoria;  
Todos os que cumprem  
os seus preceitos  
revelam bom senso.  
Ele será louvado para sempre!

Salmo 111:10

## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>9</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>10</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>11</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>14</b>
<b>LISTA DE QUADROS.....</b>	<b>14</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIACÕES .....</b>	<b>15</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>2. DESENVOLVIMENTO .....</b>	<b>20</b>
<b>2.1. Revisão Bibliográfica .....</b>	<b>20</b>
<b>2.1.1. A cultura do <i>Eucalyptus urograndis</i>: situação atual e perspectivas .....</b>	<b>20</b>
<b>2.1.1.1. Panorama geral do eucalipto em florestas plantadas.....</b>	<b>20</b>
<b>2.1.1.2. Plantio do eucalipto no Tocantins e possibilidades de expansão.....</b>	<b>22</b>
<b>2.1.2. Características agroclimáticas para o <i>Eucalyptus urograndis</i>.....</b>	<b>26</b>
<b>2.1.2.1. Desenvolvimento do <i>Eucalyptus urograndis</i>.....</b>	<b>26</b>
<b>2.1.2.2. Temperatura .....</b>	<b>27</b>
<b>2.1.2.3. Necessidades hídricas .....</b>	<b>28</b>
<b>2.1.3. Zoneamento agroclimático.....</b>	<b>30</b>
<b>2.1.3.1. Conceitos e importância.....</b>	<b>30</b>
<b>2.1.3.2. Zoneamento agroclimático como instrumento de política agrícola .....</b>	<b>32</b>
<b>2.1.3.3. Zoneamento agroclimático e as mudanças climáticas.....</b>	<b>34</b>
<b>2.2. Material e Métodos .....</b>	<b>40</b>
<b>2.2.1. Área de estudo.....</b>	<b>40</b>
<b>2.2.1.1. Caracterização física e condições climáticas do Estado.....</b>	<b>41</b>
<b>2.2.2. Simulação do efeito das mudanças climáticas sobre o zoneamento agroclimático para o plantio do <i>Eucalyptus urograndis</i>.....</b>	<b>42</b>
<b>2.3. Resultados e Discussão .....</b>	<b>48</b>
<b>2.3.1. Implicações das mudanças do clima no zoneamento agroclimático do <i>Eucalyptus urograndis</i> .....</b>	<b>48</b>
<b>3. CONCLUSÕES .....</b>	<b>75</b>

	9
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>77</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>86</b>

## RESUMO

### **Efeito das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático para a cultura do eucalipto (*Eucalyptus urograndis*) no estado do Tocantins**

O aumento do cultivo do eucalipto na região Norte do país, causado pela maior procura dessa espécie florestal que é utilizada em diversos setores da economia. No Tocantins tem-se observado um crescente aumento da área plantada em especial do *Eucalyptus urograndis*. Nesse contexto torna-se pertinente a elaboração do zoneamento de aptidão agroclimática para a cultura da espécie *Eucalyptus urograndis* para o estado do Tocantins. Com base na análise dos dados climáticos, auxiliam na identificação de áreas com maior aptidão ao desenvolvimento da espécie. Contudo, com o advento das mudanças climáticas, essas regiões poderão sofrer variações de temperatura do ar e do volume de precipitação, de acordo com o apresentado pelo IPCC (2013). O referido trabalho buscou simular os efeitos das mudanças climáticas, elaborando zoneamentos agroclimáticos para a espécie *E. urograndis* no estado do Tocantins, levando em consideração os dados apresentados pelos modelos GFDL-CM3 e HadGEM2-ES/INPE e cenários de emissão otimista (RCP 2.6), intermediário (RCP 4.5) e pessimista (RCP 8.5), para o intervalo de anos de 2041 a 2060. Além disso, realizou-se um comparativo dos zoneamentos agroclimáticos dos cenários futuros por modelo com o do clima atual. Os resultados apontaram, que em todos cenários, existem uma baixa restrição com relação a precipitação, apresentando como maior problemática para o plantio a grande resistência térmica que a cultura apresenta no Estado, fazendo com que o déficit hídrico seja na maioria dos casos impróprio (inapto) ao plantio também. Dessa forma, nos três cenários apresentados, constatou-se a predominância da classe de aptidão “restrita”, mesmo em regiões onde historicamente tem crescido a potencialidade do plantio. Ao comparar com as condições atuais, pode-se observar que o estado do Tocantins passará por intensas restrições hídricas, com diminuição para quase zero de áreas “aptas” e “marginais”, e crescimento da classe “restrita” (para aproximadamente toda área do Estado) ao desenvolvimento do *Eucalyptus urograndis* no Tocantins.

Palavras-chave: *Eucalyptus urograndis*; Aptidão climática; Agroenergia; Aquecimento global; Balanço hídrico

## ABSTRACT

### **Effect of climate change on agro-climatic zoning for crop eucalyptus (*Eucalyptus urograndis*) in the state of Tocantins**

The increased cultivation of eucalyptus in the northern region of the country, caused by the increased demand of this forest species that is used in various sectors of the economy. Tocantins has been a growing increase in planted *Eucalyptus urograndis* especially the area. In this context it is pertinent to the preparation of zoning agroclimatic suitability for growing species *Eucalyptus urograndis* for the state of Tocantins. Based on the analysis of climate data, help identify areas with higher fitness to the development of the species. However, with the advent of climate change, these regions may experience variations in air temperature and amount of rainfall, according to the presented by IPCC (2013). That study sought to simulate the effects of climate change, developing agroclimatic zoning for the species *E. urograndis* in the state of Tocantins, taking into account the data presented by models GFDL-CM3 and HadGEM2-ES / INPE and optimistic emission scenarios (RCP 2.6 ), intermediate (RCP 4.5) and pessimistic (RCP 8.5) for the range of years from 2041 to 2060. in addition, we performed a comparison of agroclimatic zoning of future scenarios for the model with the current climate. The results showed that in all scenarios, there are a low restriction regarding precipitation, presenting as most problematic for planting the great thermal resistance that culture has the state, causing the water deficit is unsuitable in most cases (unapt) planting too. Thus, in the three scenarios presented, it was found that the predominant class of "restrict" fitness, even in areas where historically has increased the potential of planting. By comparing with the current conditions, it can be seen that the state of Tocantins undergo intense water restrictions, decreasing to almost zero "apt" and "marginal" areas, and growth of "restrict" class (for about every area of the state) development of *Eucalyptus urograndis* in Tocantins.

Keywords: *Eucalyptus urograndis*; Climate aptitude; Agroenergia; Global warming; Water balance

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Utilização anual de carvão vegetal no Brasil (Adaptado da ABRAF, 2013)	21
Figura 2 - Área plantada de eucalipto no Brasil (ABRAF, 2013) .....	22
Figura 3 - Percentual por espécies de florestas plantadas no Tocantins (Adaptado de SEPEL, 2011).....	23
Figura 4 - Cenários apresentam diferentes valores para o forçamento radiativo ao passar dos séculos (IPCC, 2013).....	35
Figura 5 – Mudanças observadas na temperatura média da superfície do planeta para o período de 1901 à 2012 (IPCC, 2013).....	36
Figura 6 – Mudanças climáticas previstas para o período de 2081 à 2100 com referência de 1986 à 2005, considerando os cenários otimista (RCP 2.6) e pessimista (RCP 8.5) para: (a) temperatura média da superfície do planeta, (b) precipitação média da superfície do planeta, (c) extensão de gelo marinho no hemisfério norte no mês de setembro (d) alteração do pH na superfície do oceano (IPCC, 2013).....	37
Figura 7 – Localização da área de estudo.....	40
Figura 8 – Distribuição espacial das estações meteorológicas e pluviométricas no estado do Tocantins e seu entorno (COLLICCHIO, 2008) .....	43
Figura 9 - Fluxograma mostrando a metodologia utilizada para realizar os zoneamentos agroclimáticos para o <i>E. urograndis</i> no Tocantins, considerando as simulações dos distintos modelos e cenários de emissões .....	47
Figura 10 – (a) Temperatura do ar média anual (°C), (b) Precipitação anual (mm) e (c) Déficit hídrico anual (mm) no estado do Tocantins .....	49
Figura 11 – Médias mensais da temperatura e precipitação, no estado do Tocantins .....	50
Figura 12 – Temperatura média anual – Ta (°C) referente à: (a) climatologia atual; (b) modelo/cenário GFDL-CM3/RCP 2.6; (c) modelo/cenário GFDL-CM3/RCP 4.5 e (d) modelo/cenário GFDL-CM3/RCP 8.5.....	52
Figura 13 – Temperatura média anual – Ta (°C) referente à: (a) climatologia atual; (b) modelo/cenário HadGEM2-ES/RCP 2.6; (c) modelo/cenário HadGEM2-ES/RCP 4.5 e (d) modelo/cenário HadGEM2-ES /RCP 8.5;.....	53
Figura 14 – Precipitação anual – P (mm) referente à: (a) climatologia atual; (b) modelo/cenário GFDL-CM3/RCP 2.6; (c) modelo/cenário GFDL-CM3/RCP 4.5 e (d) modelo/cenário GFDL-CM3/RCP 8.5.....	56

Figura 15 – Precipitação anual – P (mm) referente à: (a) climatologia atual; (b) modelo/cenário HadGEM2-ES/RCP 2.6; (c) modelo/cenário HadGEM2-ES/RCP 4.5 e (d) modelo/cenário HadGEM2-ES /RCP 8.5 .....	57
Figura 16 – Déficit Hídrico anual – Da (mm) referente à: (a) climatologia atual; (b) modelo/cenário GFDL-CM3/RCP 2.6; (c) modelo/cenário GFDL-CM3/RCP 4.5 e (d) modelo/cenário GFDL-CM3/RCP 8.5.....	60
Figura 17 – Déficit Hídrico anual – Da (mm) referente à: (a) climatologia atual; (b) modelo/cenário HadGEM2-ES/RCP 2.6; (c) modelo/cenário HadGEM2-ES/RCP 4.5 e (d) modelo/cenário HadGEM2-ES /RCP 8.5 .....	61
Figura 18 – Diferenças das temperaturas provenientes dos modelos/cenários: (a) GFDL-CM3/RCP 2.6; (b) GFDL-CM3/RCP 4.5; GFDL-CM3/RCP 8.5; (d) HadGEM2-ES/RCP 2.6; (e) HadGEM2-ES/RCP 4.5 e HadGEM2-ES/RCP 8.5 (°C), para o período de 2041 a 2060, e da temperatura média anual da climatologia atual (°C).....	63
Figura 19 – Diferenças das precipitações provenientes dos modelos/cenários: (a) GFDL-CM3/RCP 2.6; (b) GFDL-CM3/RCP 4.5; GFDL-CM3/RCP 8.5; (d) HadGEM2-ES/RCP 2.6; (e) HadGEM2-ES/RCP 4.5 e HadGEM2-ES/RCP 8.5 (mm), para o período de 2041 a 2060, e da precipitação anual da climatologia atual (mm).....	66
Figura 20 – Diferenças das deficiências hídricas provenientes dos modelos/cenários: (a) GFDL-CM3/RCP 2.6; (b) GFDL-CM3/RCP 4.5; GFDL-CM3/RCP 8.5; (d) HadGEM2-ES/RCP 2.6; (e) HadGEM2-ES/RCP 4.5 e HadGEM2-ES/RCP 8.5 (mm), para o período de 2041 a 2060, e da deficiência hídrica anual da climatologia atual (mm) .....	68
Figura 21 – Zoneamento agroclimático para a cultura de <i>Eucalyptus urograndis</i> no estado do Tocantins referente à: (a) climatologia atual; (b) modelo/cenário GFDL-CM3/RCP 2.6; (c) modelo/cenário GFDL-CM3/RCP 4.5 e (d) modelo/cenário GFDL-CM3/RCP 8.5; para o período de 2041 a 2060 .....	71
Figura 22 – Zoneamento agroclimático para a cultura de <i>Eucalyptus urograndis</i> no estado do Tocantins referente à: (a) climatologia atual; (b) modelo/cenário HadGEM2-ES/RCP 2.6; (c) modelo/cenário HadGEM2-ES/RCP 4.5 e (d) modelo/cenário HadGEM2-ES/RCP 8.5; para o período de 2041 a 2060 .....	72
Figura 23 – Cenário RPC 2.6 para alteração da Temperatura para três períodos e coeficientes distintos presentes no atlas do AR5 do IPCC 2013 .....	87
Figura 24 - Cenário RPC 4.5 para alteração da Temperatura para três períodos e coeficientes distintos presentes no atlas do AR5 do IPCC 2013 .....	88
Figura 25 - Cenário RPC 8.5 para alteração da Temperatura para três períodos e coeficientes distintos presentes no atlas do AR5 do IPCC 2013 .....	89
Figura 26 - Cenário RPC 2.6 para alteração da Precipitação para três períodos e coeficientes distintos presentes no atlas do AR5 do IPCC 2013 .....	90

Figura 27 - Cenário RPC 4.5 para alteração da Precipitação para três períodos e coeficientes distintos presentes no atlas do AR5 do IPCC 2013 .....91

Figura 28 - Cenário RPC 8.5 para alteração da Precipitação para três períodos e coeficientes distintos presentes no atlas do AR5 do IPCC 2013 .....92

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Área plantada de eucalipto no Tocantins, no período de 2006 a 2012.....	24
Tabela 2 - Alteração média da temperatura global da superfície para cada cenário .....	39
Tabela 3 - Exigências agroclimáticas para a implantação do <i>Eucalyptus urograndis</i> .....	45
Tabela 4 – Valores mínimos, máximos e médios anuais e amplitudes calculadas para temperatura média anual, considerando os modelos e cenários de mudanças climáticas em relação ao clima na condição atual .....	51
Tabela 5 – Valores mínimos, máximos e médios anuais e amplitudes calculadas para precipitação anual, considerando os modelos e cenários de mudanças climáticas em relação ao clima na condição atual .....	54
Tabela 6 – Valores mínimos, máximos e médios anuais e amplitudes calculadas para o déficit hídrico anual, considerando os modelos e cenários de mudanças climáticas em relação ao clima na condição atual .....	58
Tabela 7 – Diferenças entre temperatura média anual do modelos/cenários e a temperatura média anual para o clima na condição atual .....	62
Tabela 8 – Diferenças entre precipitação anual do modelos/cenários e a precipitação anual para o clima na condição atual .....	64
Tabela 9 – Diferenças entre deficiência hídrica anual do modelos/cenários e a deficiência hídrica média anual para o clima na condição atual .....	67
Tabela 10 – Área estimada do estado do Tocantins em percentual, por classe de aptidão climática para o plantio de <i>Eucalyptus urograndis</i> resultante da simulação dos distintos modelos e cenários de mudanças climáticas, em relação ao clima na condição atual.....	73

**LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 – Municípios que cultivam eucalipto no estado do Tocantins.....	25
--	----

## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIACÕES

ABRAF	Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantas
ANA	Agência Nacional de Águas
AR5	Quinto Relatório de Avaliação
CAD	Capacidade de Armazenamento de Água no Solo
CIB	Conselho de Informações sobre Biotecnologia
CMN	Conselho Monetário Nacional
CNA	Confederação Nacional da Agricultura
CRAD	Centro de Recuperação de Área Degradada
Da	Déficit Hídrico Anual
DEF	Deficiência Hídrica do Solo
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ESALQ	Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz
ETP	Evapotranspiração Potencial
ETR	Evapotranspiração Real
FAO	Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura
GEE	Gases do Efeito Estufa
GFDL-CM3	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory
HadGEM2-ES	Hadley Centre for Climate Prediction
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change

ISNA	Índice de Satisfação de Necessidade de Água
LBA	Programa Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MCR	Manual de Crédito Rural
P	Precipitação Anual
PIB	Produto Interno Bruto
PROAGRO	Programa de Garantia da Atividade Agropecuária
RAD	Recuperação de Área Degradada
RCP	Caminhos Representativos de Concentrações
SEAGRO	Secretaria da Agricultura, da Pecuária e do Desenvolvimento Agrário
SEPEL	Subsecretaria de Energias Limpas do Tocantins
SEPLAN	Secretaria de Planejamento e da Modernização da Gestão Pública
SIA	Sistemas de Informações Agrometeorológicas
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
Ta	Temperatura Anual
USP	Universidade de São Paulo

## 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos pode-se observar um aumento significativo na demanda nacional e mundial por mercadorias florestais, o que vem exigindo políticas públicas voltadas ao planejamento regional do Brasil com relação as suas florestas plantadas. Somado a isto, em virtude da discussão e a exigência de modelos econômicos que levem em consideração plataformas para o desenvolvimento sustentável, a cultura do Eucalipto aparece como uma alternativa viável para efetivação e parte da solução do almejado desenvolvimento, tendo assim a necessidade de estudos que possam fornecer os subsídios necessários que comprovem o potencial desta cultura.

Devido aos problemas energéticos enfrentados pela humanidade, técnicos e pesquisadores despertaram o interesse na reutilização mais expressiva da madeira como fonte energética. A madeira se apresenta como um dos recursos naturais à disposição do homem. Sobre o efeito de energia solar, as folhas das árvores convertem o oxigênio, hidrogênio e principalmente o carbono em fibras de madeira, através da fotossíntese e ao ser utilizada como combustível, essa madeira reflete o uso da própria energia solar expressa no início do ciclo (BRITO; BARRICHELO, 1978).

Assim, estudos da madeira como combustível, mostram que a combustão direta da madeira é sem dúvida o processo mais simples e econômico de se obter energia. O rendimento energético de um processo de combustão da madeira depende de sua constituição química, onde os teores de celulose, hemicelulose, lignina, extrativos e substâncias minerais variam com a espécie e é de grande importância para a escolha adequada da madeira a ser utilizada (QUIRINO *et al.*, 2004).

Como pode ser visto, a escolha da espécie é de fundamental importância para produção de energia, neste caso, é necessário, portanto, estarmos atentos às características e as necessidades físicas e químicas de cada espécie e principalmente estudarmos as condições atmosféricas, já que esta exerce influência direta na tanto na produção como em todas as outras etapas das atividades agrícolas. Em outras palavras, se vê necessário para um bom planejamento de safra de uma cultura, o conhecimento das condições climáticas, analisando se as mesmas correspondem naquela região às necessidades hídricas e de temperatura que a cultura necessita. (WALDHEIM *et al.*, 2006; PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002).

Nesta ótica, os parâmetros definidores da escolha da cultura, podem ser obtidos através do estudo do zoneamento agroclimático que identifica a compatibilidade entre culturas e o meio ambiente, delimitando regiões onde ocorra melhor adaptação das espécies e por consequência, apontando locais de maior potencial produtivo, sendo caracterizado como um importante indicador de implantação da espécie com maior viabilidade econômica. Nesse contexto, a elaboração de um zoneamento agroclimático é importante na medida em que identifica as áreas onde esta cultura apresenta um melhor desenvolvimento de acordo com os fins desejados (RIBEIRO, 2009).

Assim, diante desta necessidade de alinhar e buscar a melhor espécie que possa estar na linha de equilíbrio com os objetivos almejados para a implantação de determinada cultura, e, levando-se em consideração que a madeira possui um potencial transformador para o cenário energético brasileiro e mundial, onde mais especificamente a cultura do eucalipto tem se destacado pelo grande potencial como nova fonte de energia renovável e consequentemente pelo valor agregado, é necessário um estudo aprofundado sobre esta espécie, de modo que parâmetros possam ser obtidos com o objetivo do fornecimento dos subsídios que possam nortear ainda mais o plantio e desenvolvimento desta cultura.

De origem australiana, o eucalipto apresenta um número total de espécies bem vasto e que ainda não se pode identificar com exatidão devido principalmente às novas qualidades descobertas advindas dos cruzamentos híbridos. Esse número tem aumentado sobremaneira a quantidade de espécies que podem ser encontradas, o que dificulta identificar um número exato de espécies disponíveis. Mesmo diante desta dificuldade de identificação, Gruber (2006) afirma que pode haver aproximadamente 600 classes taxonômicas divididas em 7 subgêneros, com genótipos adaptados às mais variadas condições de solo e clima. Suas espécies apresentam como características árvores típicas de florestas altas, é composta por plantas sempre-verdes que possui madeira de pequena a elevada densidade, variando de aproximadamente 0,3 a 1,0g/cm<sup>3</sup> (RIBEIRO, 2009).

As principais espécies plantadas hoje no Brasil são os *Eucalyptus camaldulensis*, *Corymbia citriodora*, *E. grandis*, *E. robusta*, *E. saligna*, *E. globulus*, *E. deglupta*, *E. tereticornis*, *E. pellita*, *E. moorei*, *E. smithii*, *E. urophylla* e *E. resinifera*. Além dessas, são desenvolvidas os híbridos, como é o caso do *Eucalyptus urograndis* (*E. grandis* X *E. urophylla*) (CIB, 2008). Segundo levantamento realizado pela Secretaria da Agricultura e Pecuária do estado do Tocantins - SEAGRO (2012), havia 75.977 hectares de *E. urograndis*

plantado no Estado, onde a previsão é que ao concluir o levantamento de 2012, esta cultura apresente um crescimento superior a 40%.

Para efetivação do crescimento da cultura do eucalipto no estado do Tocantins, a SEAGRO adota uma Política Estadual de estímulo ao cultivo da espécie por meio do Programa Campo Futuro da Confederação Nacional da Agricultura (CNA), que apresenta como meta, uma área plantada de 794.074 hectares até 2017.

O *E. urograndis* apresenta como seu ponto forte, a sua adaptação para utilização em diversos meios que geram renda, sendo bastante utilizados como combustíveis em usinas térmicas, fabricação de móveis, estruturas de construções civis, fabricação de celulose, chapa de fibras painéis de madeira aglomerada e lenha. Devido a isso, nota-se uma grande expansão da área plantada desta cultura no cerrado do Distrito Federal e áreas que possuem características semelhantes (FERNANDES; OSHIRO; OSHIRO, 2008).

A espécie *E. urograndis* é pouco exigente em relação ao clima, pois suporta temperaturas médias anuais variando de 18°C a 25°C, pluviosidade reduzida, a qual varia de 720 a 1800 mm anuais e déficit hídrico médio anual entre 15 a 170 mm. (SPERANDIO *et al.*, 2010).

Mediante o cenário atual da cultura do eucalipto, com sua contribuição ao meio ambiente, representando uma importante fonte de energia renovável, aliado aos valores econômicos que tem garantido ao país uma hegemonia, tanto em relação a produtividade quanto à área plantada foi realizado por Souza (2014), o zoneamento agroclimático para o *Eucalyptus urograndis* para o estado do Tocantins. A partir deste estudo poderá servir de subsídio para o poder público, produtores, empresários e interessados, em relação a esta cultura de forma que assim possa ter informações para futuras tomadas de decisões que garantam de fato efetividade e o sucesso da atividade proposta.

Contudo o IPCC (2013) alerta sobre a vulnerabilidade global aos impactos climáticos que vem sendo causados devido ao aquecimento global provocado pelos gases de efeito estufa, processos de: urbanização; industrialização; agricultura; pecuária e outros, que vem a testar sobre a capacidade de adaptação da sociedade ao planeta.

Nesse Contexto, o presente trabalho objetivou realizar projeções de possíveis efeitos das mudanças climáticas, sobre o zoneamento agroclimático para o *Eucalyptus urograndis* no estado do Tocantins, elaborado por Souza (2014), considerando os resultados de dois modelos climáticos (GFDL-CM3 e HadGEM2-ES), para três cenários distintos (otimista, intermediário e pessimista), para o período compreendido entre 2041 e 2060.

## **2. DESENVOLVIMENTO**

### **2.1. Revisão Bibliográfica**

#### **2.1.1. A cultura do *Eucalyptus urograndis*: situação atual e perspectivas**

##### **2.1.1.1. Panorama geral do eucalipto em florestas plantadas**

A importância e a discussão da energia e suas diversas aplicações no cotidiano do ser humano, é algo que está superado em função principalmente da utilização variada dada às diversas fontes de energias disponíveis. No entanto, a forma como tem sido dada a exploração dessas diversas fontes tem incomodado, tanto a população quanto os diversos segmentos organizados da sociedade, somando-se a estes temos ainda o poder público e os governos de vários países, considerando, sobretudo, as fontes não renováveis de energia e consequentemente o alto preço encontrado no mercado. Esses dois fatores asseveram-se à medida que as discussões em torno da necessidade de sustentabilidade em nosso planeta tomam medidas proporcionadas e urgentes, tendo sua fonte nos fatores climáticos e as diversas mostras da natureza em relação a necessidade da preservação e cuidados com o meio ambiente (ALVES, 2007).

A busca por energias renováveis pode ser a solução para o problema em questão. O Brasil, por exemplo, já conta com pelo menos 45% de sua matriz energética baseada em fontes renováveis, tendo como protagonistas as usinas hidrelétricas e a produção da cana-de-açúcar como pilares para consecução do objetivo, que é possuir cada dia mais o maior número de fontes de energias renováveis (PELLEGRINE, 2012).

Nesta ótica, fomentar o estudo e desenvolvimento de novas fontes renováveis deve ser o papel tanto dos governos quanto de empresas que se interessem na geração de energia. Com as características brasileiras, onde tem-se uma enorme ociosidade produtiva no campo, com imensas áreas degradadas e sem produção, tem-se a possibilidade de estudos que viabilizem o incremento e desenvolvimento de espécies que possam, primeiramente resolver as questões

das áreas degradadas e somando-se isso que possam também vir a contribuir para solução das fontes não renováveis de energia (ALVES, 2007).

Pode-se observar uma retomada do crescimento na utilização do carvão vegetal no Brasil nos últimos anos (Figura 1), que é uma importante fonte alternativa e renovável de produção de energia.

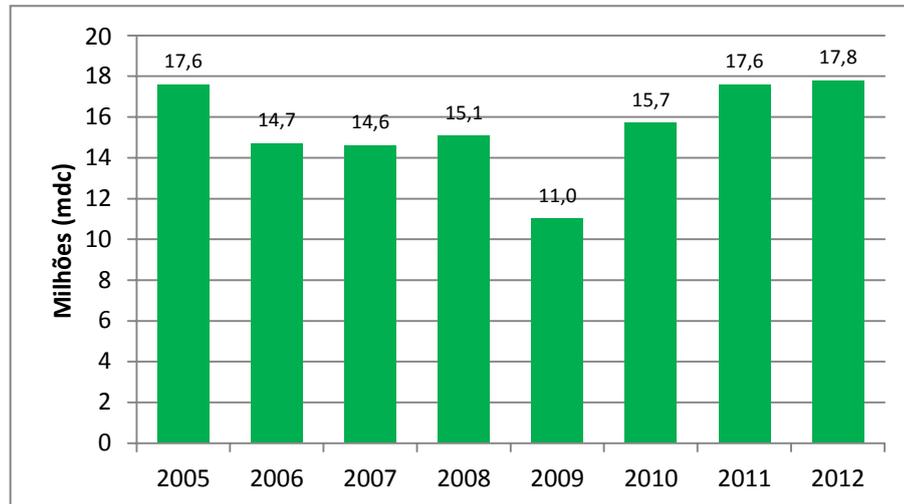


Figura 1 - Utilização anual de carvão vegetal no Brasil (Adaptado da ABRAF, 2013)

É neste sentido, que este trabalho busca estudar a cultura do eucalipto, como fonte renovável de energia a partir do seu potencial calorífico. Logo, identificar as características dessa cultura, bem como sua necessidade hídrica e climática é fator fundamental para que se identifique a viabilidade tanto econômica, como das características físicas da cultura.

O Ministério da Agricultura através da portaria nº. 198/2010 explica:

O gênero *Eucalyptus* é nativo da Austrália, pertence à família Myrtaceae, e possui cerca de 600 espécies, além de um grande número de variedades e alguns híbridos. O clima tropical ou subtropical, na maioria do território brasileiro, permite um crescimento ininterrupto e, conseqüentemente, um rápido acúmulo de biomassa. O plantio visa, principalmente, o atendimento às demandas de matéria prima para indústria de papel e celulose, carvão vegetal para siderúrgicas, produção de compensados, lâminas e painéis reconstituídos, entre outras (BRASIL, 2010, p.1).

O órgão acima citado ainda destaca que o Brasil apresenta crescente demanda de produtos florestais, os *Eucalyptus spp*, se destacam devido ao seu grande potencial para o cultivo de florestas, onde ocupa hoje o primeiro lugar em caráter mundial em produção, ao que se trata de melhoramento genético e produtividade. “Várias espécies desse gênero são utilizadas em larga escala no estabelecimento de florestas industriais no Brasil, destacando-se: *E. grandis*, *E. saligna*, *E. camaldulensis*, *E. urophylla*, *E. citriodora*, *E. viminalis*, *E. dunnii*, *E. pellita*, bem como diversos híbridos”. Os *Eucalyptus spp* são plantas detentoras de

eficientes mecanismos evolucionários, que possibilitam seu rápido crescimento em condições favoráveis, e que suportam diferentes graus de estresse hídrico (BRASIL, 2010).

Segundo o Anuário da ABRAF (2013), o Brasil apresenta uma área plantada de eucalipto de 5.102.030 ha, de norte a sul, onde o estado do Tocantins possui uma área de 109.000 há, despontando como um dos principais produtores de eucalipto da região norte (Figura 2).



Figura 2 - Área plantada de eucalipto no Brasil (ABRAF, 2013)

### 2.1.1.2. Plantio do eucalipto no Tocantins e possibilidades de expansão

O Tocantins, apresenta uma extensão territorial de 277.620,914 km<sup>2</sup>, que representa 3,26% do território nacional e 7,2% da região Norte. O Estado ainda possui 97,9% de sua área total inserida na Amazônia Legal. Como fonte de escoamento hidrográfico, o Tocantins se divide em duas bacias hidrográficas, a do rio Araguaia que representa 37,7% da área do Estado (cerca de 104.791,8 km<sup>2</sup>) e a do rio Tocantins que representa 62,3% da área (cerca de 172.828,2 km<sup>2</sup>). O Tocantins ainda é rico em recursos hídricos, apresentando 30 bacias hidrográficas estaduais que se dividem em 18 áreas estratégicas de gestão (SEPLAN 2012).

O Estado ainda apresenta aproximadamente 80% do seu território com declividade igual ou inferior a 5%, e um percentual de 66,6% (185.317,3 km<sup>2</sup>) de solo com boa aptidão agrícola (solos muito profundos, porosos, bem permeáveis) (SEPLAN 2012).

Sua localização é estratégica por se situar no centro do país, apresentando um escoamento tanto para o norte quanto para o sul do Brasil, via rodovia BR 153 (Belém-Brasília) e agora com a ferrovia norte-sul. A busca por implantação de novas tecnologias tem alavancado a cada ano na produção agrícola estadual, tendo sempre uma crescente na produção nos últimos anos.

Collicchio (2006) afirma que

A pujança do agronegócio tocantinense tem provocado o aumento por demanda de tecnologias voltadas aos interesses e necessidades regionais e locais. Os bons resultados da produção e da produtividade da agricultura no Tocantins podem ser atribuídos à pesquisa e extensão rural desenvolvida pelas instituições estabelecidas no Estado em parceria com instituições de pesquisa de outros estados (COLLICCHIO, 2006, p. 26).

Assim uma das atividades que vem crescendo no Estado é o cultivo de florestas plantadas, a qual tem se tornado uma referência na região Norte do país. De acordo com a Subsecretaria de Energias Limpas do Tocantins – SEPEL em 2011, dentre as diversas culturas possíveis, o eucalipto tem se destacado no estado do Tocantins representado cerca de 90,81% das florestas plantadas no Estado, como pode ser visualizado na Figura 3. Ainda segundo a fonte da Subsecretaria, essa escolha pela cultura do eucalipto é devido sua rusticidade, velocidade de crescimento e recuperação certa do investimento realizado, se tornando o principal caminho dos produtores rurais e conseqüentemente do governo do estado nos últimos anos para movimento da economia rural. Estudos comprovam que o eucalipto além de gerar mais emprego que a pecuária que sempre foi taxada como força motriz do agronegócio do estado, hoje também apresenta maiores lucros (FOELKEL, 2011).

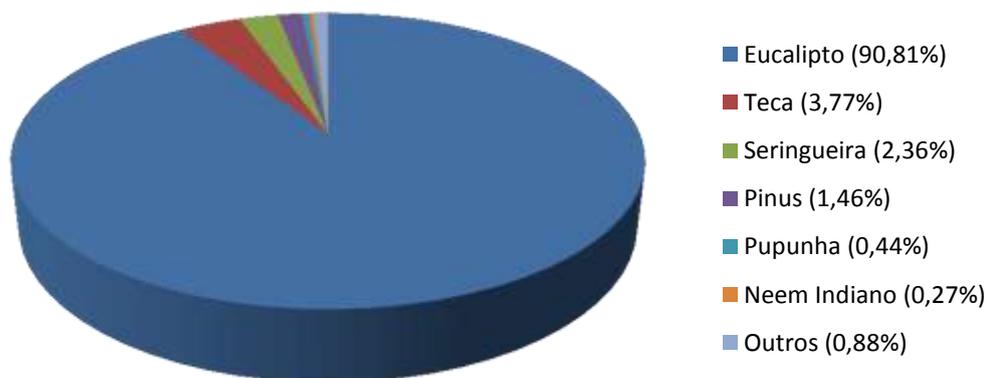


Figura 3 - Percentual por espécie de florestas plantadas no Tocantins (Adaptado de FOELKEL, 2011)

Diante do crescimento da área plantada da cultura do eucalipto no estado do Tocantins, várias empresas com níveis tecnológicos avançados com relação à produção da silvicultura clonal do eucalipto, tem se estabelecido no Estado, o que conseqüentemente tem aumentado o desempenho do cultivo de mudas. A produção prevista para o Estado é da ordem de 150 milhões de mudas de eucaliptos por ano, para suprir o crescimento previsto de aproximadamente 80.000 ha de novas plantações de eucalipto por ano (ZANETTI, 2012).

A ABRAF (2013) apresenta a evolução do plantio do eucalipto no estado do Tocantins conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Área plantada de eucalipto no Tocantins, no período de 2006 a 2012

<b>ANO</b>	<b>ÁREA (ha)</b>
2006	13.901
2007	21.655
2008	31.920
2009	44.310
2010	47.542
2011	65.502
2012	109.000

Fonte: ABRAF (2013)

Como pode ser observado na Tabela 1, o aumento da área plantada de eucalipto no estado do Tocantins tem sido significativo nos últimos 7 anos. A principal região de plantio está localizada nos municípios de Angico, Ananás, Araguatins, Darcinópolis, Itaguatins, Luzinópolis, Palmeira do Tocantins, Riachinho e São Bento, os quais estão situados na microrregião do Bico do Papagaio, totalizando uma área de 33.713,9 há, representando 44,37% da área total de eucalipto cultivado no Estado. Observa-se pelo Quadro 1, que há uma ampla distribuição de áreas cultivadas com eucalipto no Tocantins, ocorrendo em 8 microrregiões.

Quadro 1 – Municípios que cultivam eucalipto no estado do Tocantins.

Microrregiões	Área (ha)	Área (%)	Municípios	Mapas
Bico do Papagaio	33.713,9	44,37	Angico, Ananás, Araguatins, Darcinópolis, Itaguatins, Luzinópolis, Palmeira do Tocantins, Riachinho e São Bento	
Araguaína	11.396,2	15,00	Araguaína, Colinas, Filadélfia, Nova Olinda, Palmeirante, Piraquê, Santa Fé, Xambioá e Wanderlândia	
Jalapão	9.493,8	12,49	Barra do Ouro, Campos Lindos, Centenário, Goiatins, Itacajá, Itapiratins, Lagoa do Tocantins, Lizarda, Mateiros, Novo Acordo, Ponte Alta do Tocantins, Rio Sono, São Felix	
Dianópolis	8.076,5	10,66	Conceição do Tocantins, Dianópolis, Natividade, Novo Jardim, Paranã, Porto Alegre, Ponte Alta do Bom Jesus, São Valério, Taipas, Taguatinga	
Miracema	6.374,5	8,38	Brasilândia, Couto Magalhães, Divinópolis, Dois Irmãos, Fortaleza do Tabocão, Goianorte, Guaraí, Miracema, Miranorte, Presidente Kennedy, Rios dos Bois, Tupiratins, Tupirama do Tocantins	
Rio Formoso	3.685,1	4,85	Dueré, Cristalândia, Fátima, Formoso do Araguaia, Paraíso	
Gurupi	1.988	2,61	Aliança do Tocantins, Alvorada, Brejinho de Nazaré, Figueirópolis, Jaú do Tocantins e Palmeirópolis	
Porto Nacional	1.249,8	1,64	Bom Jesus, Monte do Carmo, Pedro Afonso, Porto Nacional e Tocantínia	

Fonte: Souza (2014) adaptado de SEAGRO (2012)

## 2.1.2. Características agroclimáticas para o *Eucalyptus urograndis*

### 2.1.2.1. Desenvolvimento do *Eucalyptus urograndis*

O *E. urograndis* é um híbrido desenvolvido no Brasil, obtido por polinização controlada entre *E. grandis* e *E. urophylla*. Essa combinação interespecífica resulta em árvores vigorosas, que apresentam um ótimo comportamento em viveiros, destacando-se o enraizamento de 70% ou mais, por macroestaquia (COSTA, 2011; FILHO *et al.*, 2004).

O objetivo do cruzamento de *E. grandis* com *E. urophylla* é obter plantas com bom crescimento, característica do *E. grandis*, assim como a plasticidade, adaptabilidade e o leve aumento da densidade da madeira com melhorias no rendimento e propriedades físicas da celulose, além da resistência ao fungo *Puccinia psiidi*, causador da ferrugem (COSTA, 2011; FILHO *et al.*, 2004).

As espécies do gênero *Eucalyptus* apresentam florescimento irregular, podendo citar alguns fatores como a altitude, responsáveis por essa assincronia. A maioria das espécies apresentam botões florais envolvidos por brácteas, nos estágios iniciais de desenvolvimento (SOUSA; HIGA, 1991).

A produção de mudas pode ser realizada de duas formas, uma de maneira sexuada que utiliza-se sementes e a outra assexuada por propagação vegetativa. Como o eucalipto apresenta diversas formas de comercialização, deve-se escolher a espécie segundo sua finalidade. Por exemplo, para lenha e carvão as espécies mais indicadas são as que apresentam uma maior quantidade de lenha em menor tempo de plantio, são elas: *E. grandis*, *E. urophylla* e *E. torilliana*. Já as espécies que apresentam cerne macio e branco são recomendadas para indústria do papel e celulose que são as, *E. grandis*, *E. saligna* e *E. uriphylla* e para as serrarias o indicado são madeiras com maior resistência a rachaduras como as *E. dunnii*, *E. viminalis* e *E. grandis* (DIAZ, 2011).

O plantio deve ser realizado no início do verão ou na primavera, antecedido por um preparo do solo com adubação via fertilizantes minerais. O eucalipto apresenta uma baixa resistência a ataques de formigas e muito sensíveis a competição de ervas daninhas no primeiro ano.

Os tipos de plantios podem ser manual ou mecanizado. O manual consiste no balizamento e alinhamento das mudas, abertura de covas e plantio, e o mecanizado utiliza-se um trator que abre e fecha as covas (SOUSA; HIGA, 1991).

O corte do eucalipto ocorre em três ciclos para uma mesma muda, aos 7, 14 e 21 anos. Esse ciclo de corte pode variar segundo à região e à formação do solo, ocorrendo casos que a espécie chega ao ponto de corte de 5 em 5 anos. O eucalipto apresenta como vantagem a rebrota de suas cepas, essa rebrota varia de acordo com a espécie e conforme a época de corte, apresentando um desenvolvimento melhor nos brotos quando o corte ocorre na primavera em seu período chuvoso.

### **2.1.2.2. Temperatura**

O conhecimento dos dados climáticos onde a propriedade está localizada, objetiva possibilitar o melhor aproveitamento do clima. Precipitação pluviométrica média anual, regime de chuvas, temperatura média anual e umidade relativa do ar são variáveis que, quando bem ajustadas, podem aumentar a produtividade e influenciar na escolha do eucalipto certo para determinada região (FILHO; SANTOS, 2013).

A temperatura média anual local é um fator de grande importância na escolha de eucaliptos. Por exemplo, *E. dunnii* e *E. benthamii* são eucaliptos indicados para regiões ou localidades sujeitas a geadas de forte intensidade e não apresentam desenvolvimento adequado e/ou são sujeitos a doenças de fuste em ambiente sob temperaturas médias anuais acima de 17 °C. O plantio, em especial para este trabalho das espécies de *E. grandis*, e outras como *E. urophylla* e os seus cruzamentos chamados “*urograndis*” nessas condições de clima são recomendados, pois não há ocorrência de geadas que na região sul do país tem levado à perda total da produção (FILHO; SANTOS, 2013).

A maioria das espécies do gênero *Eucalyptus* é sensível a geadas, sendo este o fator de impedimento ao desenvolvimento das espécies nas regiões de clima temperado. Um grande número pode sofrer danos com temperaturas do ar menores que 0°C e poucas sobrevivem com temperaturas inferiores a -15°C ou -18°C (TURNBULL; PRYOR, 1983).

Além disso, segundo Ruiz *et al.*, (1989), a temperatura na faixa de 18 a 25°C é uma das condições desfavoráveis para o aparecimento da doença de ferrugem, além de períodos

prolongados de molhamento foliar, orvalho noturno ou garoas por períodos superiores a 6 horas por cinco a sete dias consecutivos, e a existência de órgãos juvenis, folhas jovens e terminais de crescimento. Em geral, quando as plantas atingem o estágio fenológico B, com cerca de três a quatro metros de altura, elas se tornam tolerantes à doença, provavelmente por causa da diminuição das condições favoráveis à infecção nas partes jovens suscetíveis (ALFENAS *et al.*, 2004).

As melhores produtividades do eucalipto são atingidas nos climas subtropical e temperado quente, onde a temperatura máxima média do mês mais quente fica entre 24 e 32°C; temperatura mínima do mês mais frio entre 3 e 17°C e temperatura média anual entre 14 a 22°C (BOOTH; PRYOR, 1991; POYTON, 1979).

Segundo Sperandio *et al.*, (2010), a espécie *E. urograndis* é pouco exigente em relação ao clima, pois suporta temperaturas médias anuais variando de 18 a 25°C, o que representa um fator positivo para o cultivo dessa espécie no Tocantins.

### **2.1.2.3. Necessidades hídricas**

Mesmo suportando diferentes graus de estresse hídrico, essa boa adaptação não significa que a produtividade seja indiferente aos aspectos climáticos. Desta forma, mesmo que a pluviosidade exigida pelas espécies de eucalipto seja em sua minoria atendida nas culturas florestais, é claro que a produtividade apresentará índices bem maiores quanto melhor forem as condições agroclimáticas do local de plantio, motivando assim, a identificação das zonas na região com melhores condições hídricas, temperatura, solos e outras características (RIBEIRO, 2009).

Pesquisador da Embrapa em seu estudo (2007), afirma que: “Entre as espécies do gênero *Eucalyptus*, o híbrido *Eucalyptus urograndis* tem se destacado como uma das principais fontes de matéria-prima para produção de papel e celulose e mais recentemente como madeira para serraria e para produção de mel.” (ROCHA, 2011, p.7).

A produtividade da cultura do *E. urograndis* está relacionada à disponibilidade hídrica e aos efeitos consequentes da falta de água na planta como diminuição da taxa fotossintética e diminuição do aporte nutricional das árvores (SOUZA *et al.*, 2006 b e c).

O risco de déficit hídrico é um dos parâmetros mais importante na definição das regiões para plantio das espécies de eucalipto. O *E. urograndis* apresenta uma resistência boa ao nível de pluviosidade, sendo necessário em torno de 720 a 1800 mm anuais, um valor considerado pequeno ao se comparar com outras culturas (SPERANDIO *et al.*, 2010).

Outros estudos afirmam que o eucalipto necessita para ter uma produtividade razoável um índice pluviométrico superior a 1000 mm (litros/m<sup>2</sup>) acumulados em um ano (JOVANOVIC; BOOTH, 2002; BOOTH; PRYOR, 1991; POYTON, 1979) e o mínimo para sua sobrevivência seria de pelo menos 500 mm (DARROW, 1994; CROMER *et al.*, 1993).

No entanto, mais importante que o índice pluviométrico é a distribuição das chuvas, que precisa apresentar uma regularidade. Essa relação que se apresenta entre produtividade e pluviosidade, já foi identificada por Souza *et al.*, (2006) que observaram em seus estudos, um aumento considerável da produtividade em épocas de chuvas mais abundantes, assim como nas épocas de maior escassez de chuvas, a produtividade se apresentava baixa. Entretanto, foi constatado também que em alguns casos esta relação não se apresentou tão definida (SOUZA *et al.*, 2006 a).

Com relação ao apresentado Souza *et al.*,(2006) afirma que:

O que acontece de fato é que a pluviosidade não garante disponibilidade hídrica às plantas, que pode variar em função da demanda energética atmosférica (que é representada pela evapotranspiração potencial (ETP)) e da deficiência hídrica do solo (DEF), variáveis que podem reduzir a água disponível à evapotranspiração real (ETR), processo no qual a água flui também pela planta até atingir a atmosfera, participando dos processos metabólicos essenciais. Portanto a produtividade florestal está relacionada à disponibilidade hídrica e aos efeitos consequentes da falta de água na planta, como diminuição da taxa fotossintética e diminuição do aporte nutricional das árvores (SOUZA *et al.*, 2006, p.633).

Assim, percebe-se que o cálculo do balanço hídrico é fundamental, pois, é um instrumento capaz de realizar o monitoramento da variação do armazenamento de água no solo, sendo um excelente indicador climatológico da disponibilidade hídrica presente em determinada área (COLLICCHIO, 2008).

Pereira; Angelocci; Sentelhas (2002), apresentam diversas aplicações que são muito importantes para agricultura: a primeira, é a caracterização e a comparação climática regional, quanto a disponibilidade hídrica média no solo; a segunda, refere-se a caracterização dos períodos de secas e seus reflexos na redução da produção agrícola; a terceira, enfoca a caracterização da aptidão hídrica regional para as culturas, visando a realização do

zoneamento agroclimático; e por fim, a quarta, caracteriza-se pela determinação das melhores épocas da semeadura, afim de indicar as épocas menos sujeitas a restrições hídricas.

Devido a isso, faz-se necessário uma análise com maiores detalhes de cada parâmetro da pluviosidade e da temperatura através de variáveis derivadas, seguindo um modelo conceitual e metodológico que capte a disponibilidade hídrica em áreas de maior extensão que são características de plantios florestais. “O balanço hídrico é o modelo que melhor capta a disponibilidade hídrica em áreas extensas, como diagnosticado a tempos por Ward (1971) e por Federer (1970) e utilizado para estudos relativos a plantios florestais com eficiência desde então até os dias de hoje” (CASTRO, 2008, p.78).

### **2.1.3. Zoneamento agroclimático**

#### **2.1.3.1. Conceitos e importância**

Com a crescente expansão do agronegócio, inserido em uma economia globalizada, a agricultura nacional procura técnicas que visem melhorar a eficiência da produtividade com um melhor aproveitamento dos recursos. (NUNES *et al.*, 2007). Nesta busca, o conhecimento das condições climáticas tornou-se de fundamental importância para determinar o manejo das culturas (PORTELA *et al.*, 2008). Alguns elementos climáticos como a temperatura e a pluviosidade, podem restringir o desenvolvimento das culturas, nesse sentido é importante a utilização de ferramenta como o zoneamento agroclimático para a escolha das áreas de cultivo (POSSAS *et al.*, 2012).

O zoneamento agroclimático pode ser um excelente instrumento de planejamento dos recursos naturais essenciais como o solo e a água (BHERING *et al.*, 2014). Ele é fundamental para organização dos programas de trabalho e suporte do planejamento da agricultura. Baseia-se no levantamento dos fatores que definem as aptidões agrícolas as quais diferem de região para região. O conhecimento das condições climáticas de determinada região é de extrema importância, visto que a delimitação das regiões climaticamente homogêneas pode estabelecer os indicadores do meio físico e biológico para a região, além de identificar áreas de condições

homogêneas de atividades e dos recursos naturais nela existentes (ALMEIDA; CALIJURI; PINTO, 2013; NUNES *et al.*, 2007; EVANGELISTA; CARVALHO; SEDIYAMA, 2002).

Assim, o zoneamento agroclimático pretende obter informações sobre a adaptabilidade das culturas em uma determinada região, para alcançar maior retorno dos investimentos realizados pelos produtores visando uma agricultura racional e sustentável. O zoneamento de aptidão climática tornou-se uma ferramenta importante e amplamente utilizada na avaliação de impactos climáticos sobre o rendimento das culturas. Por essas razões, o zoneamento agroclimático de várias culturas vem sendo estudado para diferentes regiões brasileiras (BEZERRA *et al.*, 2014).

A utilização das técnicas de zoneamento agroclimático são resultados da investigação da dinâmica e atuação dos ambientes naturais, que estão modificados por um sistema de produção vegetal criado pelo homem. Essa dinâmica não se restringe apenas ao aumento na produtividade e o ciclo da água no solo, mas aos processos atmosféricos, geomorfológicos e socioeconômicos ocorridas nas áreas modificadas (WOLLMANN; GALVANI, 2013).

O zoneamento agroclimático tornou-se uma ferramenta importante no processo de tomada de decisão, permitindo a delimitação de regiões com melhor aptidão climática para o cultivo (MEDEIROS *et al.*, 2013; MEDEIROS *et al.*, 2009; NUNES *et al.*, 2007; SOUZA *et al.*, 2006), proporcionando maior retorno de investimentos para os produtores e contribuindo para uma agricultura racional e sustentável (BEZERRA *et al.*, 2014; POSSAS *et al.*, 2012).

A partir do zoneamento climático, pode-se definir três classes de aptidão, como as “aptas” - quando a região apresenta condições térmicas e hídricas favoráveis, “restrita” ou “marginal” - quando a região apresenta restrição térmica ou hídrica, “inaptas” – região com limitações graves dos fatores térmicos e hídricos (SCHNEIDER *et al.*, 2012; NUNES *et al.*, 2007; EVANGELISTA; CARVALHO; SEDIYAMA, 2002).

No Brasil, os estudos de zoneamento agroclimático são recentes, sendo desenvolvidos na grande maioria após a década de 1990, principalmente pela Embrapa. Estes estudos desdobram-se em especial sobre as monoculturas, no entanto, há vários estudos utilizando culturas regionais (WOLLMANN; GALVANI, 2013).

Conforme Almeida; Calijuri; Pinto (2013), Nunes *et al.*, (2007) e Sediyaama *et al.*, (2001), há necessidade, de adquirir ou criar de bancos de dados mais completos e consistentes, sobre o zoneamento agrícola de uma região, bem como a utilização de técnicas mais modernos e sofisticados no delineamento dos limites climáticos para o atendimento à adaptabilidade de novas variedades. Esses dados devem ser constantemente atualizados

visando obter maiores informações sobre as condições climáticas das culturas selecionadas e, sobretudo, proporcionar maior retorno dos investimentos a médio e a longo prazo para os produtores.

No desenvolvimento de estudos de zoneamento agroclimático, os softwares de geoprocessamento, conhecidos como Sistemas de Informações Geográficas (SIG) podem ser considerados um instrumento para mapear e indicar respostas às várias questões (EVANGELISTA; CARVALHO; SEDIYAMA, 2002), além da utilização de Sistemas de Informações Agrometeorológicas (SIA), que pode ser considerado um conjunto de técnicas que auxiliam no planejamento das atividades (WOLLMANN; GALVANI, 2013).

A união de um SIG e um SIA geram informações agrometeorológicas muito ricas, que podem ser inseridas em um zoneamento agroclimático, com dados confiáveis das realidades climáticas de uma determinada região, trabalhando-se com a sucessão e variabilidade do tempo (WOLLMANN; GALVANI, 2013).

### **2.1.3.2. Zoneamento agroclimático como instrumento de política agrícola**

A política agrícola consiste em um conjunto de ações voltadas para o planejamento, o financiamento e o seguro da produção, que constitui a base da Política Agrícola do Ministério da Agricultura. Por meio de estudos na área de gestão de risco, linhas de créditos, subvenções econômicas e levantamentos de dados, o apoio do estado acompanha todas as fases do ciclo produtivo. Essas ações se dividem em três grandes linhas de atuação: gestão do risco climático, crédito e comercialização (MAPA, 2014).

Dessa maneira, surge no Brasil em 1965 uma abertura de créditos governamentais aos produtores rurais com a promulgação da Lei nº 4.829/65 que institucionaliza o Crédito Rural, que objetiva entre outras coisas estimular o incremento ordenado dos investimentos rurais, favorecer o custeio para a produção e comercialização de produtos agropecuários, além de possibilitar o fortalecimento econômico dos produtores rurais (BRASIL, 2014).

Em seguida, surgiu o PROAGRO (Programa de Garantia da Atividade Agropecuária) que foi criado pela Lei 5.969/1973 e regido pela Lei Agrícola 8.171/1991, ambas regulamentadas pelo Decreto 175/1991. Suas normas são aprovadas pelo Conselho Monetário Nacional-CMN e codificadas no Manual de Crédito Rural (MCR-16), que é divulgado pelo

Banco Central do Brasil e é custeado por recursos alocados pela União e dos provenientes da contribuição que o produtor rural paga (o adicional/prêmio do PROAGRO), bem como das receitas obtidas com a aplicação do adicional recolhido. (MAPA, 2014).

Posteriormente a aplicação do Crédito Rural houve a instituição do PROAGRO em que deveriam ter sido corrigidas algumas disfunções apresentadas pelo programa de Crédito Rural, em que o crédito oferecido aos produtores poderia estar sendo desviado para outros fins como o mercado financeiro e no mercado de terras, sendo que isso deveria ter sido corrigido no início do PROAGRO, adotando-se uma política de incentivo aos pequenos produtores, o que só veio acontecer em 1975 com a aprovação pela FAO (Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura) da Resolução nº 13/75 que tratava sobre o crédito para pequenos produtores (FORMIGA, 1983).

Atualmente, o programa de zoneamento de risco climático está sob a responsabilidade da Coordenação-Geral de Zoneamento Agropecuário do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. Até a implantação desse programa pelo MAPA, não havia no país uma metodologia atuária adequada e as taxas de sinistralidades na agricultura eram muito altas (MAPA, 2014).

Ainda segundo MAPA (2014), essas são as principais políticas públicas voltadas para a gestão do risco rural que entre outros objetivos no zoneamento agrícola de risco climático zela para: minimizar os riscos de perdas por adversidades climáticas incontornáveis, garantindo capacidade de (re)investimento do agricultor; ser indutor de adoção de tecnologia; incentivar a expansão de culturas e regiões; contribuir para a redução de gastos públicos; permitir o redirecionamento e melhor alocação de recursos para os empreendimentos rurais viáveis; subsidiar a formulação efetiva de uma Política Agrícola.

Com o alinhamento do PROAGRO e o zoneamento agrícola houve vários benefícios à agricultura brasileira, principalmente no que concerne à diminuição das perdas provocadas por eventos climáticos, ao aumento da produtividade agrícola nas áreas zoneadas, retorno de capitais aplicados em operação de crédito agrícola, redução das taxas de sinistro, bem como a diminuição do número de indenizações pagas pelo Programa de Garantia da Atividade Agropecuária, firmando-o como um verdadeiro instrumento de política agrícola (ROSSETI, 2001).

### 2.1.3.3. Zoneamento agroclimático e as mudanças climáticas

Segundo o quinto relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudança do clima – IPCC (2013), as concentrações atmosféricas globais de gases do efeito estufa – GEE, como, metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) tiveram um crescente e significativo aumento, devido a atividades realizadas pelo ser humano desde 1750, e hoje superam em muito os valores pré-industriais estabelecidos. Os aumentos que se refere a concentração de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O são caracterizados nomeadamente às práticas agrícolas. Enquanto ao que se refere ao CO<sub>2</sub>, seu aumento de concentração, está ligado diretamente à utilização de queima de combustíveis fósseis e à diferentes formas de uso do solo.

O referido relatório ainda cita modelos climáticos que preveem devido a esse aumento da concentração de GEE (principalmente o CO<sub>2</sub>), que o aquecimento global tende a sofrer um aumento da temperatura média do ar, sendo estimado em torno de 1,0°C e 2,0°C levando em conta o período de 2046 a 2065 e de 1,0°C e 3,7°C, ao final do século XXI (2081 e 2100). A marca comparativa (baseline) para realizar as comparações foi de duas décadas também, abrangendo o período de 1986 a 2005 (IPCC, 2013).

Koumrouyan *et al.*,(2010) afirmam que

Os cenários utilizados nas pesquisas em mudança do clima têm sido tradicionalmente desenvolvidos através de um processo sequencial, seguido passo a passo com lenta troca de informações entre as disciplinas. Para o Quinto Relatório de Avaliação (AR5) do IPCC, os pesquisadores de mudança do clima de diferentes disciplinas têm estabelecido um processo paralelo de nova coordenação para o desenvolvimento de cenários. O processo paralelo começa com quatro cenários futuros de forçantes radiativas, os RCPs – Caminhos Representativos de Concentrações –, onde a palavra ‘representativos’ refere-se a um de muitos cenários possíveis, e a palavra ‘caminhos’, aos níveis de concentrações de interesse que não apenas a concentração de longo prazo, mas a trajetória ao longo do tempo para alcançar tal resultado (Moss *et al.*, 2010, p.10).

O enfoque em cenários de emissões, que agora se identificam como cenários normativos, diferente de outrora que se enquadravam na categoria de cenários exploratórios (ALCAMO, 2001), possibilitarão que possam ser modelados dados em investigações futuras fundamentada em cenários (MOSS *et al.*, 2010).

Cada cenário possui uma família que recebeu uma variável (número) após a sigla RCP, que apresenta o valor da forçante radiativa com foco no final desse século, pois os

estudos climatológicos ligados ao IPCC usam essa referência. Dessa forma, os novos cenários são:

1. RCP 8.5, onde o forçamento radiativo é maior do que  $8,5 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  e a concentração de  $\text{CO}_2$  equivalente superior a 1.370 ppm;
2. RCP 6.0, onde o forçamento radiativo será de cerca de  $6 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  e a concentração de  $\text{CO}_2$  equivalente aproximadamente de 650 ppm;
3. RCP 4.5, onde o forçamento radiativo será em torno de  $4,5 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  e a concentração de  $\text{CO}_2$  equivalentes com valores próximos de 650 ppm;
4. RCP 2.6, onde o forçamento radiativo gira em torno de  $3 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  e a concentração de  $\text{CO}_2$  equivalente chegará a um valor máximo de aproximadamente 490 ppm antes de 2100 e então haverá uma redução. (MOSS *et al.*, 2010).

A Figura 4 apresenta projeções do desenvolvimento desses cenários até o ano de 2500.

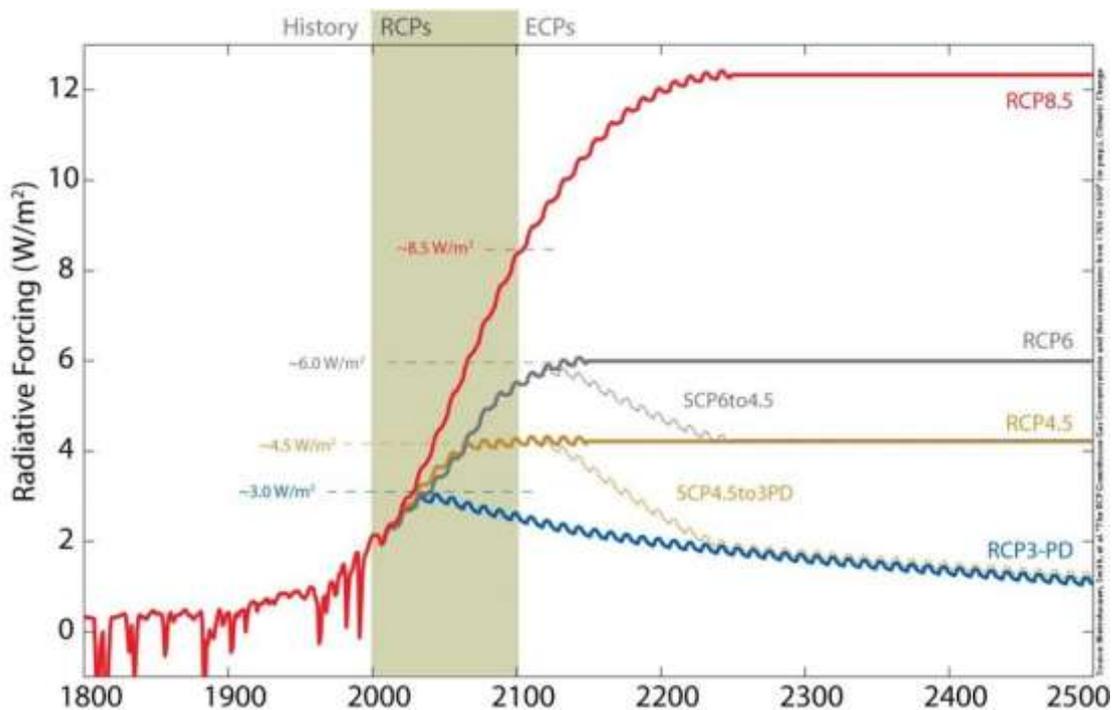


Figura 4 - Cenários apresentam diferentes valores para o forçamento radiativo ao passar dos séculos (IPCC, 2013)

Tendo esses cenários como referência, pode-se através de processos paralelos buscar novos estudos que apresentarão diversas possibilidades de condições distintas para climas futuros, levando-se em consideração sempre recentes dados climáticos que influencie nos

processos de mudanças do clima. As pesquisas serão ferramentas que facilitarão o entendimento dos *feedbacks* maiores, através da identificação das demandas e estratégias de adaptação, buscando novas formas de mitigação dos problemas encontrados (MOSS *et al.*, 2010).

Koumrouyan *et al.*, (2010, p. 11) explicam que

O conceito de que os quatro caminhos de forçantes radiativas podem ser atingidos por uma gama diversificada de variáveis socioeconômicas e de cenários de desenvolvimento tecnológico, é central ao novo processo paralelo. A consequente colaboração intensificada entre as pesquisas em avaliações de impactos, adaptação e vulnerabilidades melhorará a análise das questões complexas, como os custos, riscos e benefícios de diferentes opções políticas e o futuro climático e socioeconômico (MOSS *et al.*, 2010, p.11).

Desta forma, esse processo paralelo diminuirá as diferenças encontradas com relação a: a) criação dos cenários de emissões; b) a utilização desses cenários nas modelagens matemáticas climatológicas, e; c) a realização de pesquisas sobre vulnerabilidade, adaptação e impactos ambientais através da aplicação dos valores encontrados para cada cenário climático (Moss *et al.*, 2010).

As Figuras 5 e 6 apresentam dados das mudanças climáticas globais extraídas do relatório do IPCC (2013), sendo que a primeira identifica a série histórica de mudanças observadas na temperatura média global de 1901 à 2012, e a segunda, sobre os valores referentes às mudanças de temperatura, precipitação, extensão de gelo no hemisfério norte e alteração do pH dos mares, levando em consideração os cenários (otimista e pessimista) projetados pelo IPCC.

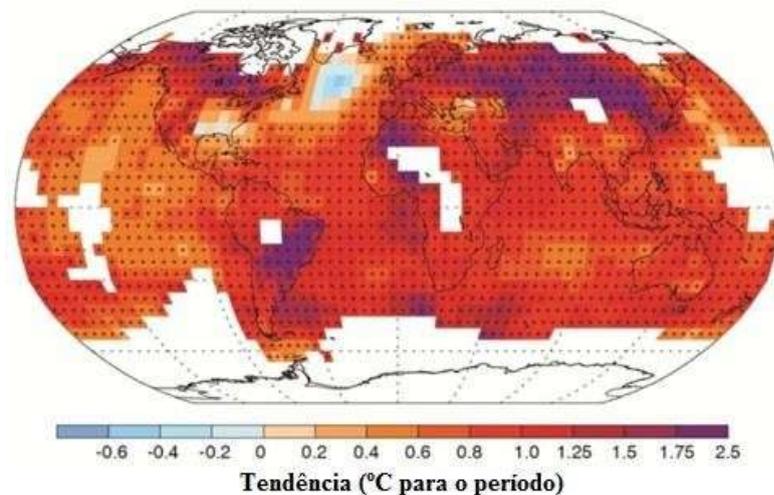


Figura 5 – Mudanças observadas na temperatura média da superfície do planeta para o período de 1901 à 2012 (IPCC, 2013)

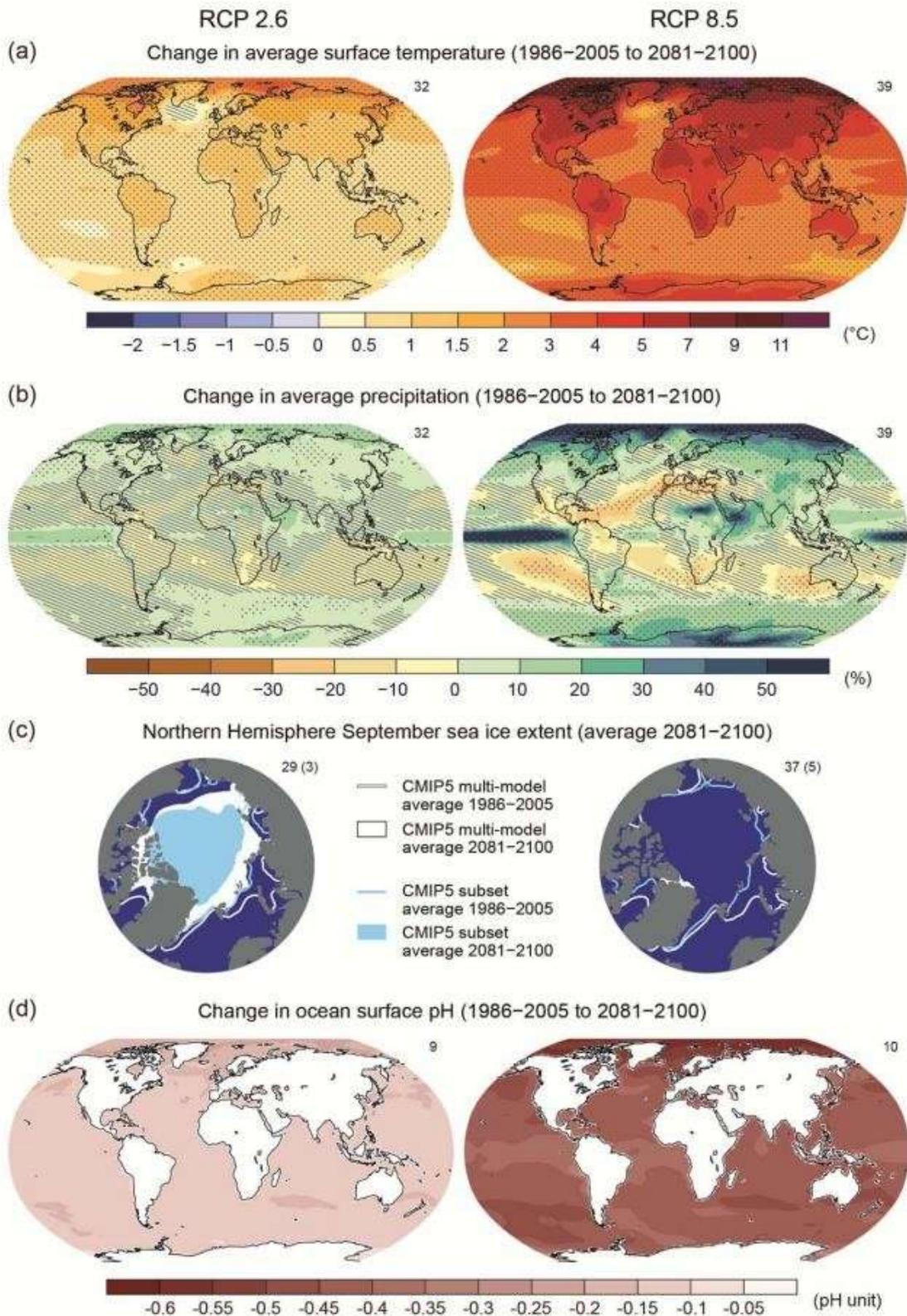


Figura 6 – Mudanças climáticas previstas para o período de 2081 à 2100 com referência de 1986 à 2005, considerando os cenários otimista (RCP 2.6) e pessimista (RCP 8.5) para: (a) temperatura média da superfície do planeta, (b) precipitação média da superfície do planeta, (c) extensão de gelo marinho no hemisfério norte no mês de setembro (d) alteração do pH na superfície do oceano (IPCC, 2013)

Com as incertezas de adesão de governos com relação às políticas públicas que busquem combater lançamentos de GEE, hoje é impossível se determinar em qual dos cenários apresentados pelo relatório AR5 do IPCC (2013), o planeta se enquadrará ao passar dos anos. Assim, é salutar ter o discernimento de que esses valores devem ser utilizados como prognósticos e não como dados exatos futuros. Porém, por meio desses cenários, já se pode dimensionar a possível evolução da temperatura média global até o ano de 2100.

Ainda de acordo com o AR5, o aquecimento global de 1951 até a atualidade tem sido em média de cerca de 0,12° C por década. O número de dias e noites frios decaiu e o número de dias e noites quentes aumentou. O oceano armazenou mais de 90% da energia acumulada entre 1971 e 2010. A redução de cobertura de gelo na Groenlândia aumentou de 34 bilhões de toneladas ao ano na década de 2001 para 147 bilhões de toneladas um ano após a mesma escala de tempo. O nível médio do mar em todo o mundo aumentou 19 cm entre 1901-2010, em média 1,7 mm ao ano (75% dessa elevação se deve a perda de geleiras e expansão térmica do oceano). Esta elevação se acelerou para 3,2 mm ao ano entre 1993 e 2010. Durante o último período entre eras glaciais, quando as temperaturas ficaram abaixo daquelas majoritariamente projetadas para 2100, o nível do mar máximo foi de pelo menos 5 metros maior do que o atual, devido ao de gelo da Groenlândia e da Antártica. Em 2100, reduções anuais da extensão de gelo do mar do Ártico são vistas em todos os cenários. Elas variam de uma diminuição da cobertura de gelo no verão de 43% no cenário RCP 2.6 para 94% no cenário RCP 8.5, com 8% na cobertura de gelo no inverno em RCP 2.6 a 34% no cenário RCP 8.5 (IPCC, 2013).

As concentrações de CO<sub>2</sub> aumentaram 40% desde épocas pré-industriais, predominantemente de emissões de combustíveis fósseis e depois de emissões provocadas mudanças no uso do solo. Em 2011, os níveis de CO<sub>2</sub>, o principal gás-estufa, situou-se em 391 partes por milhão na atmosfera, um aumento de cerca de 40% em comparação aos níveis pré-industriais. Até 2011, as emissões totais antropogênicas de CO<sub>2</sub> desde a industrialização foram de 545 bilhões de toneladas de carbono. O CO<sub>2</sub> gerado por combustíveis fósseis chegaram a 365 bilhões de toneladas de carbono. O desmatamento e outros usos do solo responderam por 180 bilhões de toneladas. O oceano absorveu 155 bilhões de toneladas, os sistemas terrestres naturais, 150 bilhões; 240 bilhões estão na atmosfera (IPCC, 2013).

Com base nas informações e cenários acima, tem-se que a possibilidade de alcançar a meta proposta pela ONU de chegar a um aquecimento menor de 2°C em comparação com a

época pré-industrial, todas as emissões de carbono das fontes antropogênicas precisariam ser limitadas a cerca de 1 gigatonelada.

Os cenários de emissões discriminados no AR5 do IPCC (2013), trazendo as alterações médias da temperatura global da superfície da terra, utilizando quatro cenários (RCP 2.6; RCP 4.5; RCP 6,0 e RCP 8.5) para dois períodos, um de 2046 à 2065 e o outro para o final do século que é de 2081 à 2100, estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Alteração média da temperatura global da superfície para cada cenário

CENÁRIOS	2046-2065		2081-2100	
	Média	Faixa Provável	Média	Faixa Provável
RCP 2.6	1,0	0,4 a 1,6	1,0	0,3 a 1,7
RCP 4.5	1,4	0,9 a 2,0	1,8	1,1 a 2,6
RCP 6.0	1,3	0,8 a 1,8	2,2	1,4 a 3,1
RCP 8.5	2,0	1,4 a 2,6	3,7	2,6 a 4,8

Fonte: Adaptado IPCC (2013).

Collicchio (2008) destaca que estas projeções do IPCC têm deixado profissionais da área técnico-científico, voltado ao campo agropecuário, muito apreensivos, estimulando assim mais estudos relacionados às possíveis consequências das mudanças climáticas. Ou seja, para o professor, uma das soluções possíveis para contornar o cenário apresentado é a realização de zoneamentos agroclimáticos para o máximo de espécies, com diferentes cenários de previsões futuras.

Assim, o acompanhamento e visualização das questões críticas em relação aos fatores agroclimáticos torna-se não mais uma opção, e sim, um modelo eficiente de gestão, contribuindo para a aplicação e uso eficiente dos solos brasileiros.

Diante deste contexto, diversos trabalhos referentes a elaboração de zoneamentos agroclimáticos para distintas culturas e seus impactos relacionados às mudanças climáticas estão sendo desenvolvidos no país.

Dentre esses trabalhos realizados por pesquisadores brasileiros nesses últimos anos pode-se citar: para as culturas do arroz, milho, feijão e soja (ASSAD; PINTO; ZULLO JUNIOR, 2007; MACIEL, 2010), café (PINTO et al., 2001; ASSAD et al., 2004), cana-de-açúcar (BARBARISI et al., 2007; MARIN et al., 2007; COLLICCHIO, 2008), dendê (OLIVEIRA, 2012) e seringueira (NAVES BARBIERO, 2014).

## 2.2. Material e Métodos

### 2.2.1. Área de estudo

A área contemplada no presente estudo é o estado do Tocantins, cuja superfície total corresponde a 277.620,914 km<sup>2</sup>. Os limites geográficos do Estado são: Longitudes 45° 41' 46'' W, Latitudes 5° 10' 06' S, no extremo sul: Serra das Traíras (divisa TO/GO), no extremo norte: rio Tocantins (divisa TO/MA) e 13° 27' 69'' S, no extremo oeste: Rio Araguaia (divisa TO/MT) e no extremo leste: Área de Proteção Ambiental Serra da Tabatinga (divisa TO/PI/BA) e 50° 44' 33'' W (SEPLAN, 2012).

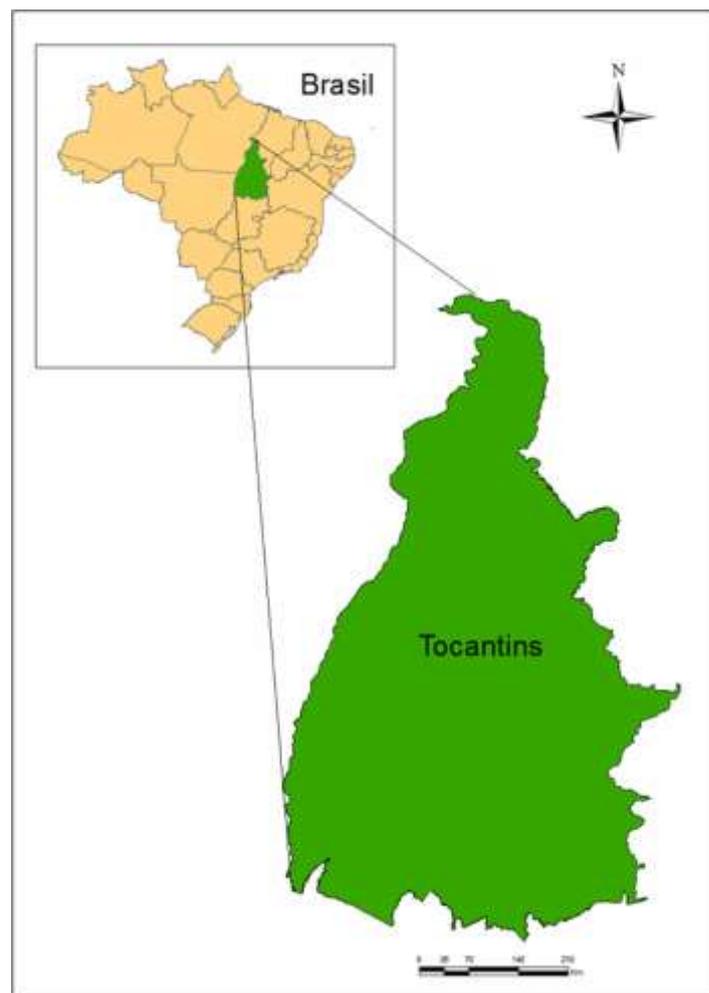


Figura 7 – Localização da área de estudo

### **2.2.1.1. Caracterização física e condições climáticas do Estado**

O Tocantins é o estado mais jovem do Brasil com 26 anos, e de acordo com estimativas do IBGE (2012), ocupa a quarta colocação em número de habitantes da região Norte, com 1.417.694 pessoas.

Apresenta em seu território, uma área total de 277.620,914 km<sup>2</sup> (27.762,000 ha), que representa aproximadamente 7,2% do espaço geográfico da Região Norte e de 3,26% do território brasileiro. Na Região Norte, o Estado ainda apresenta 97,9% de sua área total inserida na Amazônia Legal (SEPLAN, 2012). Cerca de 13.810.000 ha que representa aproximadamente 50% da área total do Tocantins, apresenta boa aptidão para produção agropecuária. Desse total, cerca de 7.500.000 ha estão destinadas à pastagem para pecuária de uso exclusivo e aproximadamente 600.000 há para agricultura (SEAGRO, 2012).

O Tocantins faz fronteira com os estados do Maranhão (nordeste), do Piauí (leste), da Bahia (sudeste), do Goiás (sul), do Mato Grosso (sudoeste) e do Pará (noroeste).

Como fonte de escoamento hidrográfico o Tocantins se divide em duas bacias hidrográficas, a do rio Araguaia que representa 37,7% da área do Estado (cerca de 104.791,8 km<sup>2</sup>) e a do rio Tocantins que representa 62,3% da área do Estado (cerca de 172.828,2 km<sup>2</sup>). O estado do Tocantins ainda é rico em recursos hídricos, apresentando 30 bacias hidrográficas estaduais que se divide em 18 áreas estratégicas de gestão. Seus principais rios o Tocantins e o Araguaia ao se juntarem dão origem a maior bacia hidrográfica situada completamente em território brasileiro (SEPLAN 2012).

O Estado ainda possui relevo formado por planícies, embora sejam encontrados planaltos e depressões, principalmente na região sul, com pouca variação de altitude. A maior parte do Estado não ultrapassa a altitude de 500 metros em relação ao nível do mar, sendo que o ponto mais elevado do estado tem 1340 metros de altitude e fica na Serra das Traíras. O território tocantinense apresenta aproximadamente 80% de sua área, com declividade igual ou inferior a 5% e a vegetação em seu território é predominantemente de Cerrado (87%) e o restante de florestas de transição (12%), sendo a maioria de transição amazônica (SEPLAN 2012).

O clima da região é tropical semiúmido e a maior parte de toda precipitação anual do estado ocorre nos meses de outubro a abril.

A temperatura média é de 32°C no período de seca (de abril a setembro) e de 26°C no período de chuvas (de outubro a março). Na região norte do Estado as temperaturas médias são cerca de 3°C mais altas do que na região sul. Existem áreas planas e elevadas, onde o clima é influenciado de maneira marcante pelo relevo, altitude e exposição das serras.

A regionalização climática para o Estado foi realizada pela SEPLAN (2012), a partir do método de Thornthwaite, considerando para isso os índices representativos de umidade, aridez e eficiência térmica (evapotranspiração potencial), derivados diretamente da precipitação, da temperatura e dos demais elementos resultantes do balanço hídrico de Thornthwaite – Mather (1955). Foram identificados assim 3 tipos de clima:

- B1wA´a´ - clima úmido com moderada deficiência hídrica no inverno, evapotranspiração potencial apresentando uma variação média anual entre 1.400 e 1.700 mm, distribuindo-se no verão em torno de 390 e 480 mm ao longo dos três meses consecutivos com temperatura mais elevada.

- C2wA´a´´ - clima úmido subúmido com moderada deficiência hídrica no inverno, evapotranspiração potencial média anual de 1.500 mm, distribuindo-se no verão em torno de 420 mm ao longo dos três meses consecutivos com temperatura mais elevada.

- C2w2A´a` - clima úmido subúmido com pequena deficiência hídrica, evapotranspiração potencial média anual de 1.600 mm, distribuindo-se no verão em torno de 410 mm ao longo dos três meses consecutivos com temperatura mais elevada.

De acordo com o Atlas do Tocantins, a precipitação média anual do Estado varia de 1300 a 2100 mm, sendo que as chuvas não são distribuídas de forma uniforme durante o ano, caracterizando-se assim um inverno com o mínimo de precipitação (seco) e o verão com o máximo (chuvoso). A temperatura média do ar anual apresenta variação entre 25 e 27 °C (SEPLAN, 2012).

### **2.2.2. Simulação do efeito das mudanças climáticas sobre o zoneamento agroclimático para o plantio do *Eucalyptus urograndis***

O presente estudo buscou elaborar zoneamentos agroclimáticos com efeito das mudanças climáticas para a espécie do *E. urograndis* no estado do Tocantins, a partir de uma base de dados meteorológicos, provenientes de 110 estações meteorológicas e pluviométricas

(Figura 8), situadas na área de estudo e estados circunvizinhos, compreendidas entre os paralelos 4° 30' e 13° 30' Sul e meridianos 45° 30' e 51° 30' Oeste, provenientes do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, Agência Nacional de Águas - ANA, Secretaria da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Tocantins- SEAGRO e Embrapa, os quais foram organizados por Collicchio (2008).

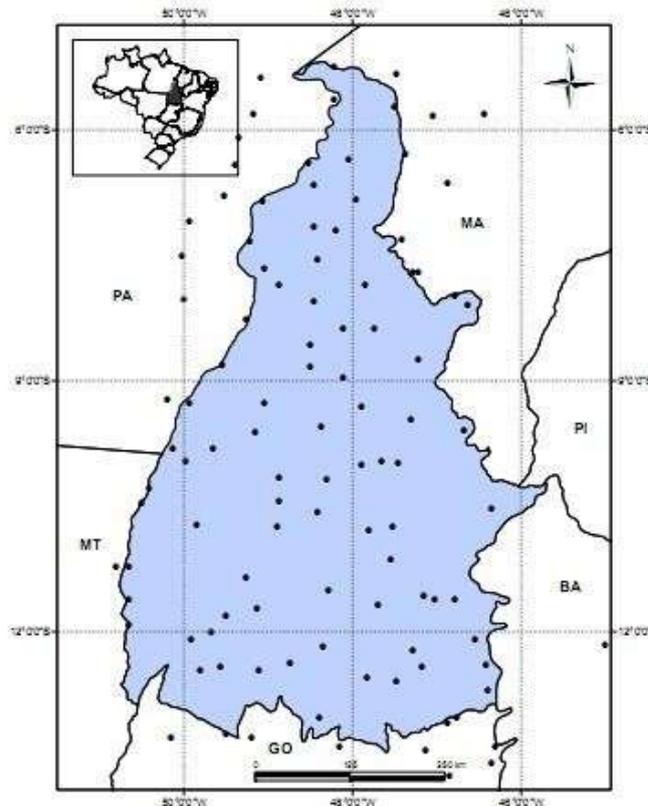


Figura 8 – Distribuição espacial das estações meteorológicas e pluviométricas no estado do Tocantins e seu entorno (COLLICCHIO, 2008)

Para verificar o efeito das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do *Eucalyptus urograndis* ao clima atual elaborado por Souza (2014), foi comparado com os dados simulados para cenários futuros. Para isso foram simulados zoneamentos agroclimáticos do *Eucalyptus urograndis*, utilizando os dados de saída dos modelos Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, (GFDL-CM3), do National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA, dos Estados Unidos e o Hadley Centre for Climate Prediction, (HadGEM2-ES/INPE), da Grã-Bretanha, que foi modelado com contribuições do INPE do Brasil.

Os modelos foram escolhidos por apresentarem valores distintos para estimativa de temperatura e precipitação, seguem o protocolo do CMIP5-IPCC-AR5 e podem ser acessados na página oficial da organização wordclim.

Utilizou-se os resultados dos modelos simulados para três possíveis cenários de emissões: a) RCP 2.6, que é um cenário de baixa emissão, ou seja, um cenário otimista; b) RCP 4.5, que é um cenário de média emissão, denominado como intermediário e c) RCP 8.5, que retrata um cenário de alta emissão, pessimista.

Os três cenários foram simulados para o período entre 2041 e 2060, sendo utilizados dados com resolução espacial de 900 m (30 segundos de longitude e latitude).

Todos os dados foram modelados utilizando como referência o clima atual (clima de base) do WordClim 1.4, levando-se em consideração os anos de 1950 a 2000 e também uma resolução espacial de 900 m.

O clima atual simulado pelos modelos para o período de 2041 a 20160 apresenta desvios com relação a linha de base dos modelos (1950 – 2000), nesse sentido fez-se necessário realizar um método de correção com o intuito de adequar os dados simulados à realidade. Esse método utilizado é o mesmo que já foi adotado em outros estudos por Collicchio (2008); Salati *et al.*, (2007); Minguez *et al.*, (2004) e é demonstrado esquematicamente na Figura 9.

Primeiramente foram calculados os desvios com relação aos efeitos do aquecimento global, efetuando a diferença entre os dados simulados de temperatura e precipitação para todos modelos e cenários futuros e período presente (*baseline* dos modelos). Essa etapa foi executada através do programa ArcGis versão 9.3, que gerou mapas no formato *raster* na resolução  $0,25^\circ \times 0,25^\circ$  (27 x 27 km) possuindo os valores das diferenças calculadas.

Após identificado os valores de diferença, foi realizado álgebra dos mapas dos dados observados (dados do clima atual), somando com os mapas que obtinham os desvios, gerando assim mapas com dados corrigidos de temperatura e precipitação para a climatologia futura. Esse processo foi realizado para cada um dos cenários e para os dois modelos utilizados, sendo que os dados de temperatura foi uma soma simples, já os dados de precipitação foi obtido primeiramente o percentual de aumento ou diminuição da precipitação de cada ponto e posteriormente realizado a soma com os dados das estações. Todas essas equações foram realizadas através de planilha eletrônica sendo calculado para cada valor mensal de cada estação.

Com esses novos valores de precipitação anual e temperatura média anual, as evapotranspirações foram calculadas, assim como o cálculo do balanço hídrico climatológico preconizado por Thornthwaite-Mather (1955), por meio de planilha eletrônica desenvolvida pela ESALQ/USP, sendo necessário para o modelo a capacidade de água disponível (CAD), que é o máximo de água que o solo pode reter. Utilizou-se o CAD = 300 mm baseado nas recomendações de Ribeiro (2009), Castro (2008), Guimarães et al., (2007) e Pereira et al., (2002). Para a espacialização dos resultados do balanço hídrico, utilizou-se um Sistema de Informação Geográfica (SIG), associando localização geográfica das estações meteorológicas, e também para elaboração dos mapas.

O modelo leva em consideração que, caso a precipitação seja maior que a evapotranspiração potencial (ETP), a evapotranspiração real (ETR) será igual à potencial e o restante de água será utilizado para recarregar o armazenamento do solo ou convertido em excedente hídrico. Mas se a precipitação não for suficiente para que a evapotranspiração seja mantida, o modelo remove água armazenada no solo. Contudo, esta remoção de água apresenta resistência, tornando a ETR menor que a ETP, produzindo assim o déficit hídrico. É aumentada a resistência de remoção de água do solo, proporcionalmente a diminuição da quantidade de água armazenada nele. Todas as fórmulas e maiores esclarecimentos sobre o modelo podem ser observados no trabalho de Pereira (2005).

Assim, gerou-se os mapas dos zoneamentos agroclimáticos da cultura do *E. urograndis* para o clima atual e cenários de emissões futuras, através do cruzamento de planos de informações do mapa de deficiência hídrica anual (Da) do mapa de temperatura média anual (Ta) e o mapa de precipitação anual (P), considerando as exigências climáticas para o *Eucalyptus urograndis* (Tabela 3) utilizadas por Sperandio *et al.*, (2010).

Tabela 3 - Exigências agroclimáticas para a implantação do *Eucalyptus urograndis*

<b>Aptidão Climática</b>	<b>Temperatura Média Anual (Ta)</b>	<b>Deficiência Hídrica Anual (Da)</b>	<b>Precipitação Anual (P)</b>	<b>Valor</b>
Apta	$18 \leq Ta \leq 25 \text{ }^\circ\text{C}$	$15 \leq Da \leq 170 \text{ mm}$	$720 \leq P \leq 1800 \text{ mm}$	8
Inapta	$18 > Ta > 25 \text{ }^\circ\text{C}$	$15 > Da > 170 \text{ mm}$	$720 > P > 1800 \text{ mm}$	1
Marginal	Ocorreu nas áreas em que apenas uma variável (T, Da ou P) foi inapta			4
Restrita	Ocorreu nas áreas em que apenas uma variável (T, Da ou P) foi apta			2

Fonte: Adaptado de Sperandio *et al.*,(2010)

Por fim, as zonas de aptidão foram geradas através da metodologia preconizada por Nappo *et al.*, (2005) e utilizada por Souza (2014), que consiste no cruzamento dos arquivos em formato *raster*, sendo a multiplicação dos *grids*: temperatura, déficit hídrico e precipitação. Utilizando os dados da Tabela 2 foi realizada uma reclassificação das espécies atribuindo valor “2”, considerando uma classe “apta” conforme as exigências climáticas, e valor “1” sendo uma classe “restrita”, que corresponde aos dados fora do intervalo, obtendo assim as classes de aptidão (1 - Inapta, 2 - Restrita, 4 - Marginal e 8 - Apta) como apresenta a Tabela 2 acima e assim gerando os mapas dos zoneamentos agroclimáticos para cada cenário e modelo apresentado anteriormente. O método utilizado para interpolação dos dados foi o Spline, no qual ao invés de tirar a média de valores dos dados obtidos, a interpolação acomoda uma superfície flexível como se estivesse esticando uma folha ao longo de todos os valores de pontos conhecidos.

O fluxograma contendo as etapas da elaboração dos zoneamentos agroclimáticos do *E. urograndis* para o estado do Tocantins, considerando as simulações dos dois modelos e dos três cenários de emissões propostos neste estudo estão apresentados na Figura 9.

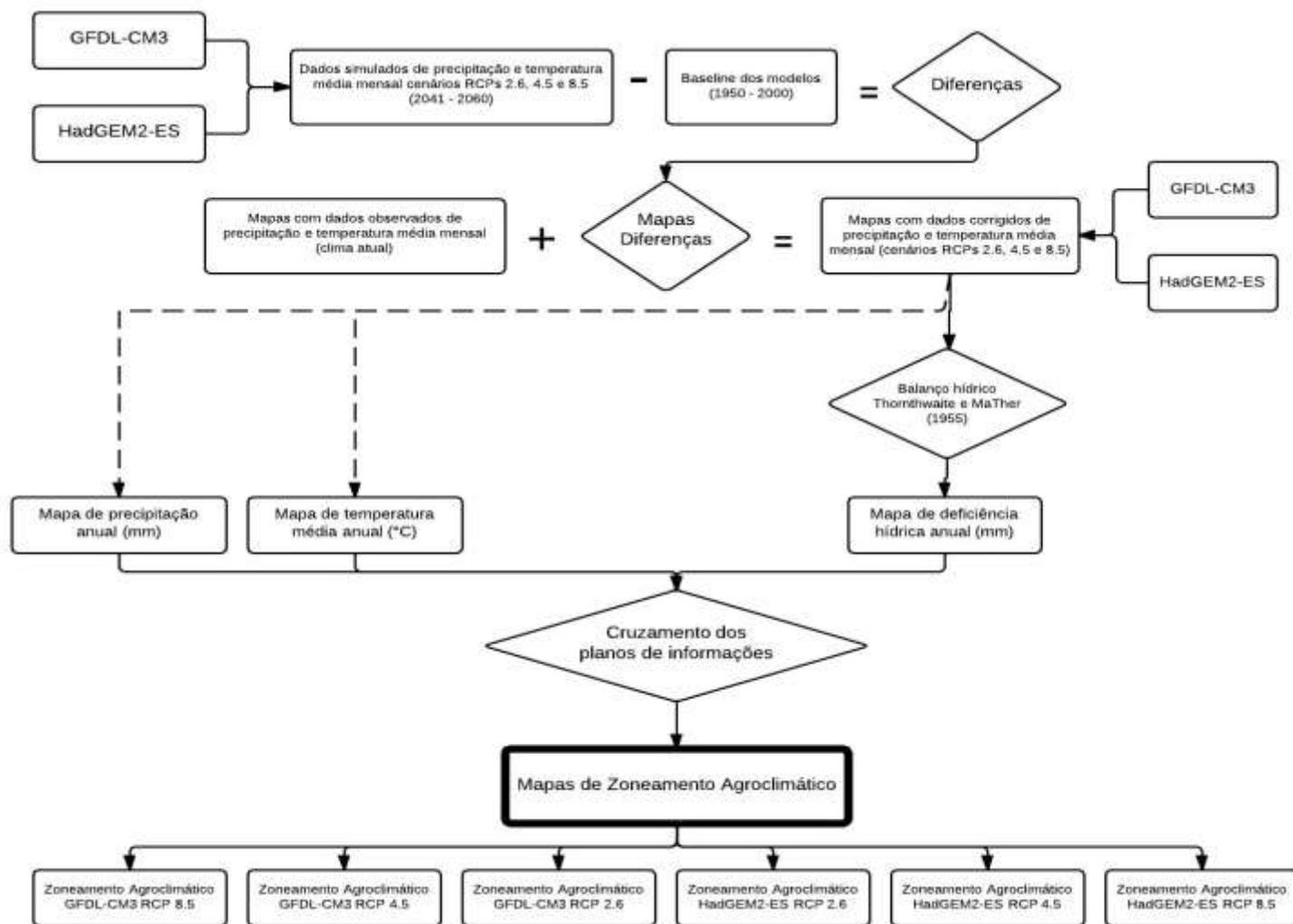


Figura 9 - Fluxograma mostrando a metodologia utilizada para realizar os zoneamentos agroclimáticos para o *E. urograndis* no Tocantins, considerando as simulações dos distintos modelos e cenários de emissões

## 2.3. Resultados e Discussão

### 2.3.1. Implicações das mudanças do clima no zoneamento agroclimático do *Eucalyptus urograndis*

Com base nas informações geradas, foi possível construir os mapas básicos da temperatura média do ar, da precipitação anual e o déficit hídrico do estado do Tocantins, sendo estes representados na Figura 10.

A temperatura média anual máxima registrada no Tocantins para o clima atual foi de 27,27 °C, a mínima 23,34 °C e a média 25,69 °C apresentando uma amplitude de 3,93 °C.

Observando a Figura 10a nota-se que as maiores temperaturas do Estado acontecem em seu centro e no sudoeste, tendo uma diminuição no sentido oeste-leste, centro-sudeste e do centro para o noroeste.

Segundo as exigências climáticas para o *Eucalyptus urograndis* utilizadas por Sperandio *et al.*, (2010) ocorrerá restrição com relação à temperatura para o cultivo desta espécie no Tocantins em algumas localidades.

A Figura 11 mostra o comportamento médio mensal da temperatura média e precipitação com base em dados observacionais obtidos no estado do Tocantins.

De acordo com a Figura 11, as temperaturas médias mais amenas ocorrem nos meses de junho (24,92 °C) e julho (24,86 °C), sendo estes também os meses mais secos, registrando valores de precipitação de 11,49 mm e 5,22 mm respectivamente.

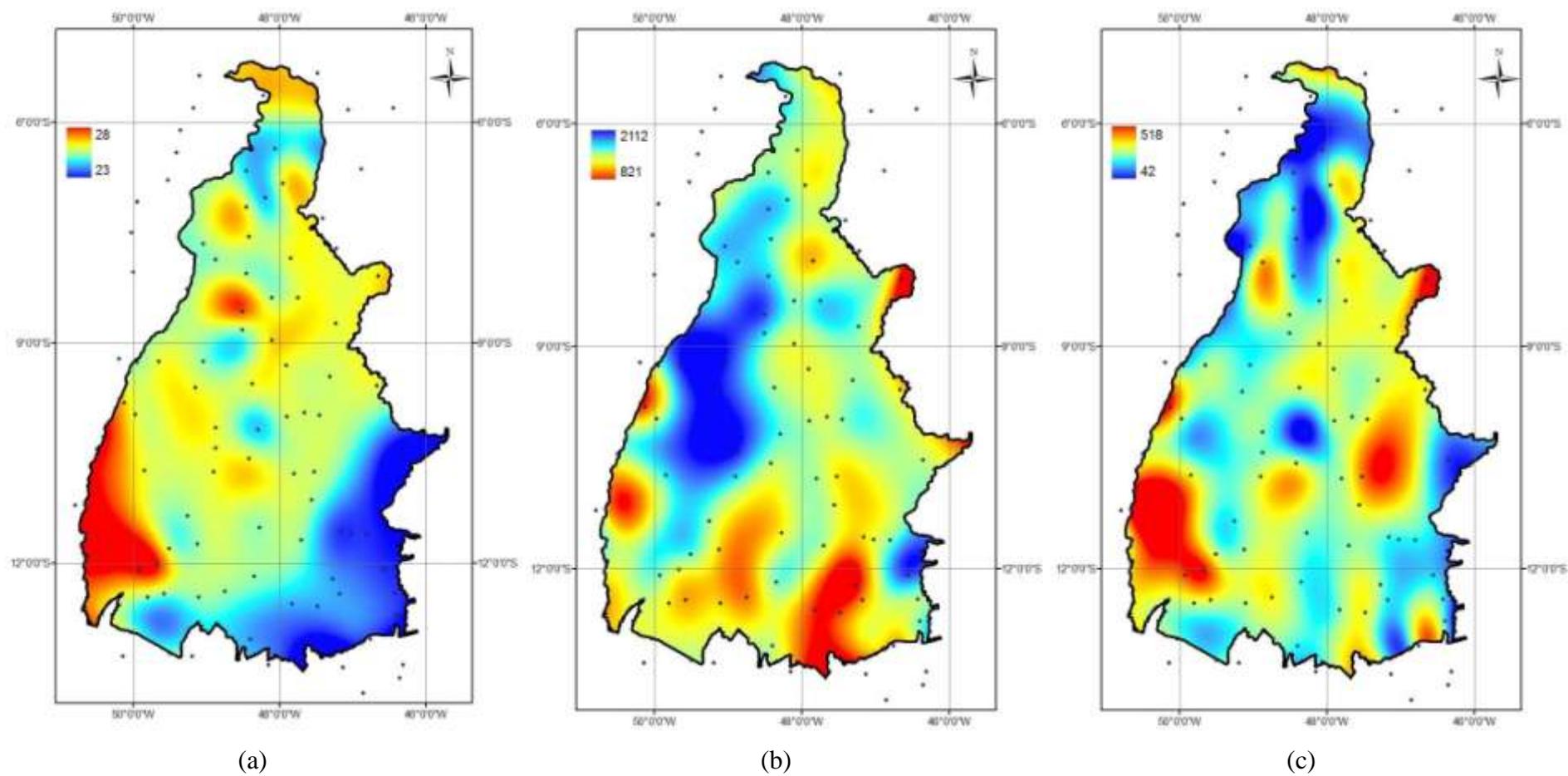


Figura 10 – (a) Temperatura do ar média anual ( $^{\circ}\text{C}$ ), (b) Precipitação anual (mm) e (c) Déficit hídrico anual (mm) no estado do Tocantins

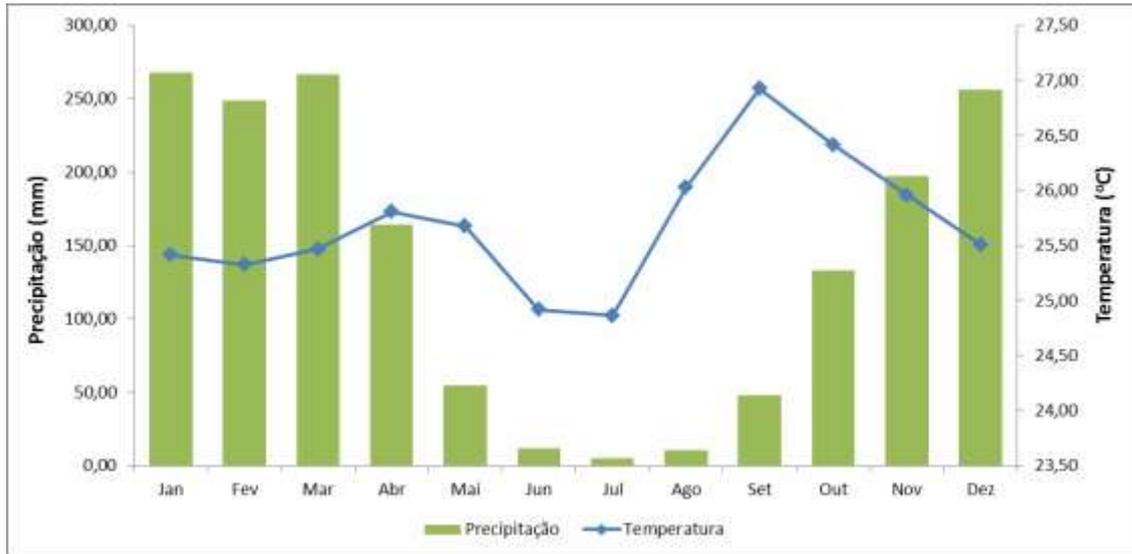


Figura 11 – Médias mensais da temperatura e precipitação, no estado do Tocantins

Com relação à pluviosidade, a precipitação média anual deste Estado é de aproximadamente 1662 mm, tendo seus valores variando entre a máxima de 2112 mm e a mínima de 821 mm. Pela figura 10b percebe-se que as menores precipitações são observadas na região sudeste e nordeste, já as maiores abrangem uma área que vai da região noroeste, ao centro, englobando parte da região oeste e sudoeste do Estado.

Desta forma, segundo Sperandio *et al.*, (2010) ocorrerá restrição para ao cultivo devido a alta pluviosidade em algumas regiões do Tocantins tendo em vista que a precipitação máxima aceita para esta espécie de eucalipto é de 1800 mm e a mínima de 720 mm.

As chuvas acumulam-se no ano quase em sua totalidade no período de outubro a abril, sendo o trimestre de janeiro a março o mais chuvoso. A estação da seca varia de 3 a 6 meses, contudo considerando precipitações mensais inferiores a 50mm, pode-se definir em média 5 meses de seca, com início em maio e final em setembro, o que demonstra bem a sazonalidade (Figura 11).

O balanço hídrico torna possível a definição das regiões e períodos de deficiência hídrica em que não é possível o cultivo da espécie em questão. O conhecimento dessa distribuição espaço-temporal da disponibilidade hídrica do Estado favorece e facilita planejamentos e políticas de uso racional do solo e da água, além de fornecer conteúdo para a elaboração do zoneamento agroclimático.

O déficit hídrico ocorrerá sempre quando ao atendimento da evapotranspiração o solo não conseguir suplementar a precipitação. Pela Figura 10c vê-se que a deficiência hídrica anual do estado que variou de 42 mm a 516 mm, com uma amplitude de 474 mm e uma média

de 255 (Tabela 6) foi menor na região noroeste do estado e as maiores foram verificadas principalmente nas regiões sudoeste, nordeste e sudeste.

A exigência da cultura quanto a deficiência hídrica pela metodologia de Sperandio *et al.*, (2010) varia de 15 a 170 mm, logo para a climatologia atual ocorrerá restrição de áreas também segundo este quesito.

De acordo com a metodologia proposta, foram encontrados os valores expressados na Tabela 4, onde a temperatura média para o clima atual (25,69°C) aumentou para ambos os modelos e para todos os cenários, sendo o maior incremento observado no GFDL\_RCP 8.5, cuja temperatura atingiu 29°C, e o menor foi constatado no HadGEM2\_RCP 2.6 com 27,85°C. A amplitude, que demonstra a dispersão entre os menores e maiores valores de temperatura especializados, obteve uma pequena diferença entre elas, com um aumento em cada classe analisada modelos/cenários. No modelo GFDL para os cenários RCP 2.6 e 8.5 esse aumento foi de 0,5°C, já no 4.5 foi de 0,4°C. Quanto ao outro modelo o incremento na amplitude foi de 0,1°C; 0,3°C e 0,6°C para os cenários RCP 2.6; 4.5 e 8.5, respectivamente.

Tabela 4 – Valores mínimos, máximos e médios anuais e amplitudes calculadas para temperatura média anual, considerando os modelos e cenários de mudanças climáticas em relação ao clima na condição atual

Modelos/ Cenários	Temperatura média anual – Ta (°C)			
	Ta mínima	Ta máxima	Ta média	Amplitude
Clima Atual	23,34	27,27	25,69	3,93
GFDL_RCP 2.6	25,24	29,67	27,89	4,43
GFDL_RCP 4.5	26,04	30,37	28,50	4,33
GFDL_RCP 8.5	26,54	30,97	29,00	4,43
HadGEM2_RCP 2.6	25,44	29,47	27,85	4,03
HadGEM2_RCP 4.5	25,94	30,17	28,47	4,23
HadGEM2_RCP 8.5	26,34	30,87	28,99	4,53

As variações espaciais da temperatura da climatologia atual e dos modelos/cenários podem ser analisadas nas Figuras 12 e 13, onde o maior aumento na temperatura em relação ao clima atual no modelo GFDL, aparece na região sudoeste do Estado em todos os cenários, tendo um crescimento ao centro, no sentido nordeste à medida que se aproxima do cenário pessimista. Isso se repete no modelo HadGEM2, porém neste caso a região do Bico do Papagaio apresenta um maior acréscimo na temperatura.

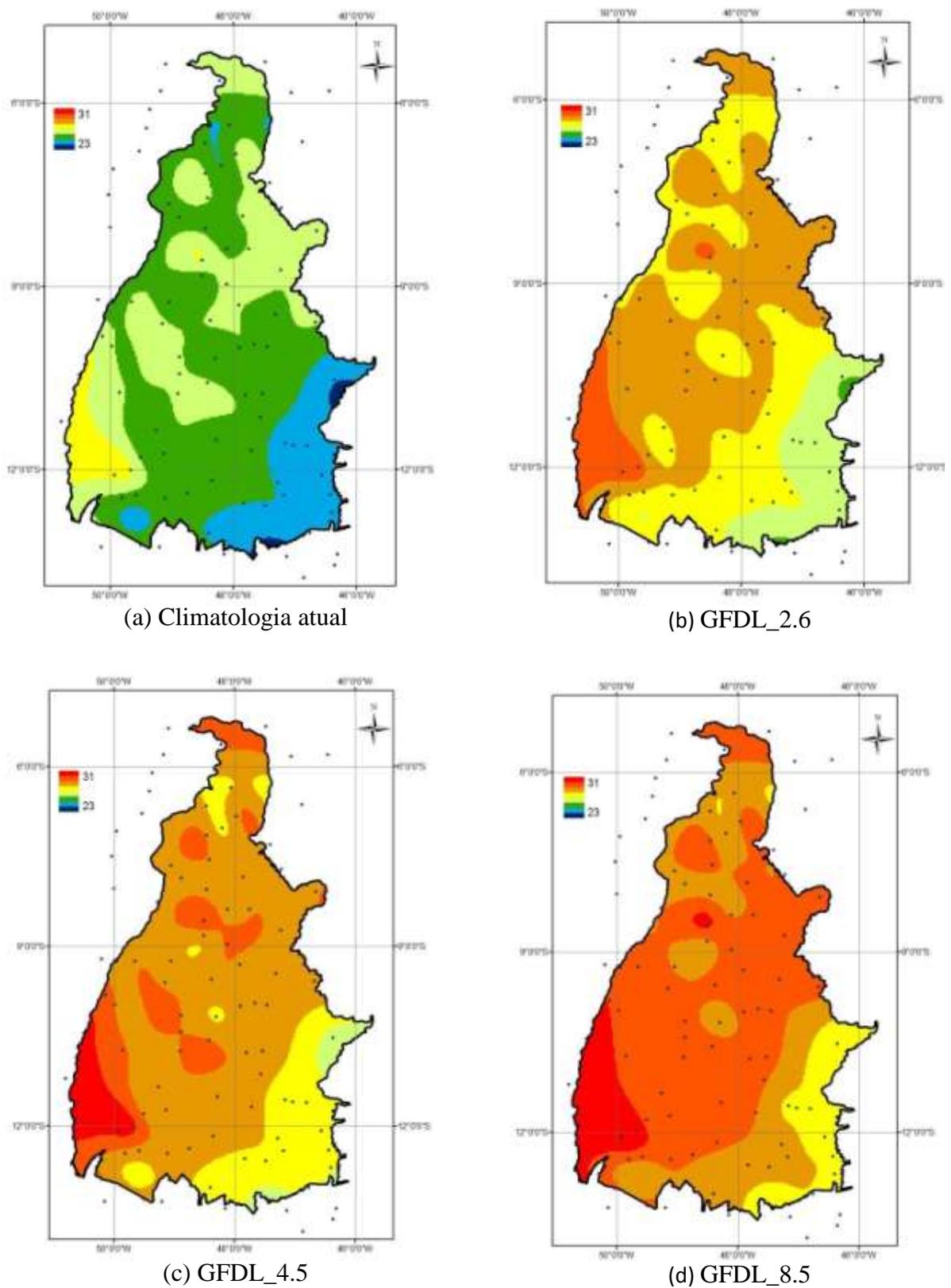


Figura 12 – Temperatura média anual –  $T_a$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) referente à: (a) climatologia atual; (b) modelo/cenário GFDL-CM3/RCP 2.6; (c) modelo/cenário GFDL-CM3/RCP 4.5 e (d) modelo/cenário GFDL-CM3/RCP 8.5

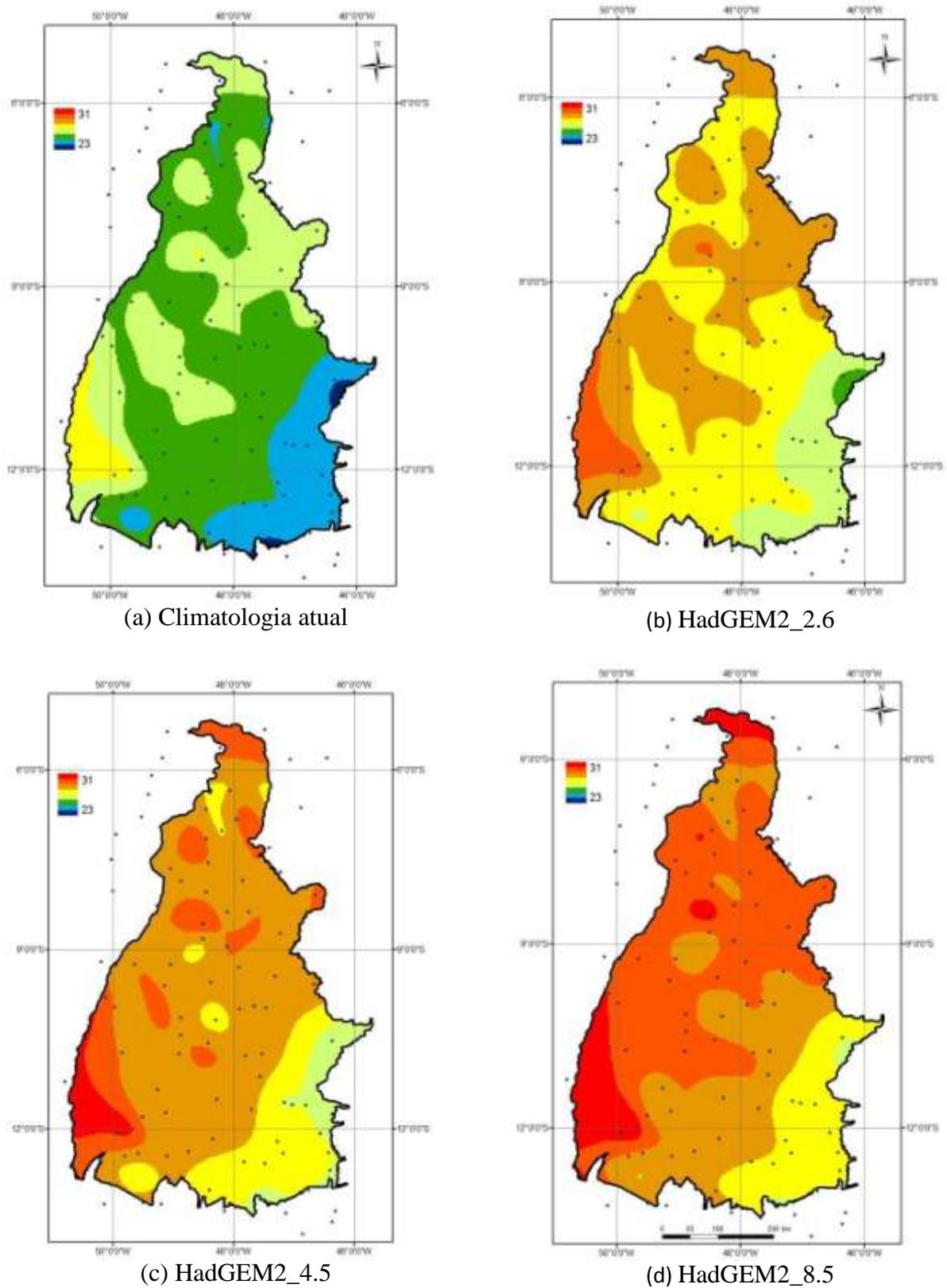


Figura 13 – Temperatura média anual –  $T_a$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) referente à: (a) climatologia atual; (b) modelo/cenário HadGEM2-ES/RCP 2.6; (c) modelo/cenário HadGEM2-ES/RCP 4.5 e (d) modelo/cenário HadGEM2-ES /RCP 8.5;

Para os dados de precipitação, a Tabela 5 (abaixo), indica que inversamente do ocorrido com a temperatura, a precipitação média anual, apresentou uma diminuição em ambos os modelos e seus cenários em relação à precipitação anual do clima atual (1662 mm). O HadGEM2\_RCP 2.6 foi o que mais diminuiu, registrando 1301 mm, que representa uma redução média de 21,72%.

Neste caso, a amplitude das classes para o parâmetro precipitação variou, com tendência a aumento no modelo GFDL e diminuição no HadGEM2. No primeiro modelo o aumento foi de 252 mm, 231 mm e 468 mm para os cenários 2.6, 4.5 e 8.5 respectivamente, já no segundo a redução foi de 369 mm, 310 mm e 430 mm para os mesmos cenários mostrando assim a variação dos dados.

Quanto ao modelo GFDL, ocorre um decréscimo gradativo da precipitação do cenário otimista ao pessimista em relação à precipitação do clima atual.

É importante ressaltar ainda que diferente do ocorrido com a temperatura, a qual apresentou aumento em todo Estado, observou-se locais onde ocorreram aumento da precipitação, mesmo notando que em um contexto geral a redução desse parâmetro foi totalmente predominante.

Tabela 5 – Valores mínimos, máximos e médios anuais e amplitudes calculadas para precipitação anual, considerando os modelos e cenários de mudanças climáticas em relação ao clima na condição atual

Modelos/ Cenários	Precipitação anual – P (mm)			
	P mínima	P máxima	P média	Amplitude
Clima Atual	821	2112	1662	1291
GFDL_RCP 2.6	863	2422	1434	1559
GFDL_RCP 4.5	840	2378	1397	1538
GFDL_RCP 8.5	773	2548	1380	1775
HadGEM2_RCP 2.6	908	1844	1301	936
HadGEM2_RCP 4.5	1043	2038	1513	995
HadGEM2_RCP 8.5	1054	1929	1486	875

A variação espacial da precipitação da climatologia atual para os modelos/cenários pode ser analisada nas figuras 14 e 15.

Na Figura 14, a diminuição da precipitação no modelo GFDL apresenta-se inicialmente na região a sudeste que vai aumentando no sentido do centro do estado além de

uma pequena parcela a nordeste. Assim como essa diminuição cresce na região mais seca do mapa da climatologia atual, também ocorre na que apresenta os maiores índices de precipitação do Estado, sendo localizada na faixa a oeste do Tocantins, que vai da região do Bico do Papagaio até o sudoeste.

Na Figura 15, o modelo HAdGEM2 apresentou um contraste na distribuição em relação ao GFDL. Neste caso verifica-se que houve uma redução também, porém não gradativa como ocorreu no modelo GFDL.

A redução da precipitação por cenário em relação ao clima atual e variável, sendo que a maior diminuição (11,73%) aconteceu no cenário RCP 2.6 (otimista) e a menor no cenário RCP 4.5 (8,82%).

As regiões com maior e menor precipitação foram semelhantes nos dois modelos, no entanto, não se apresentaram extensas no HadGEM2 como no GFDL.

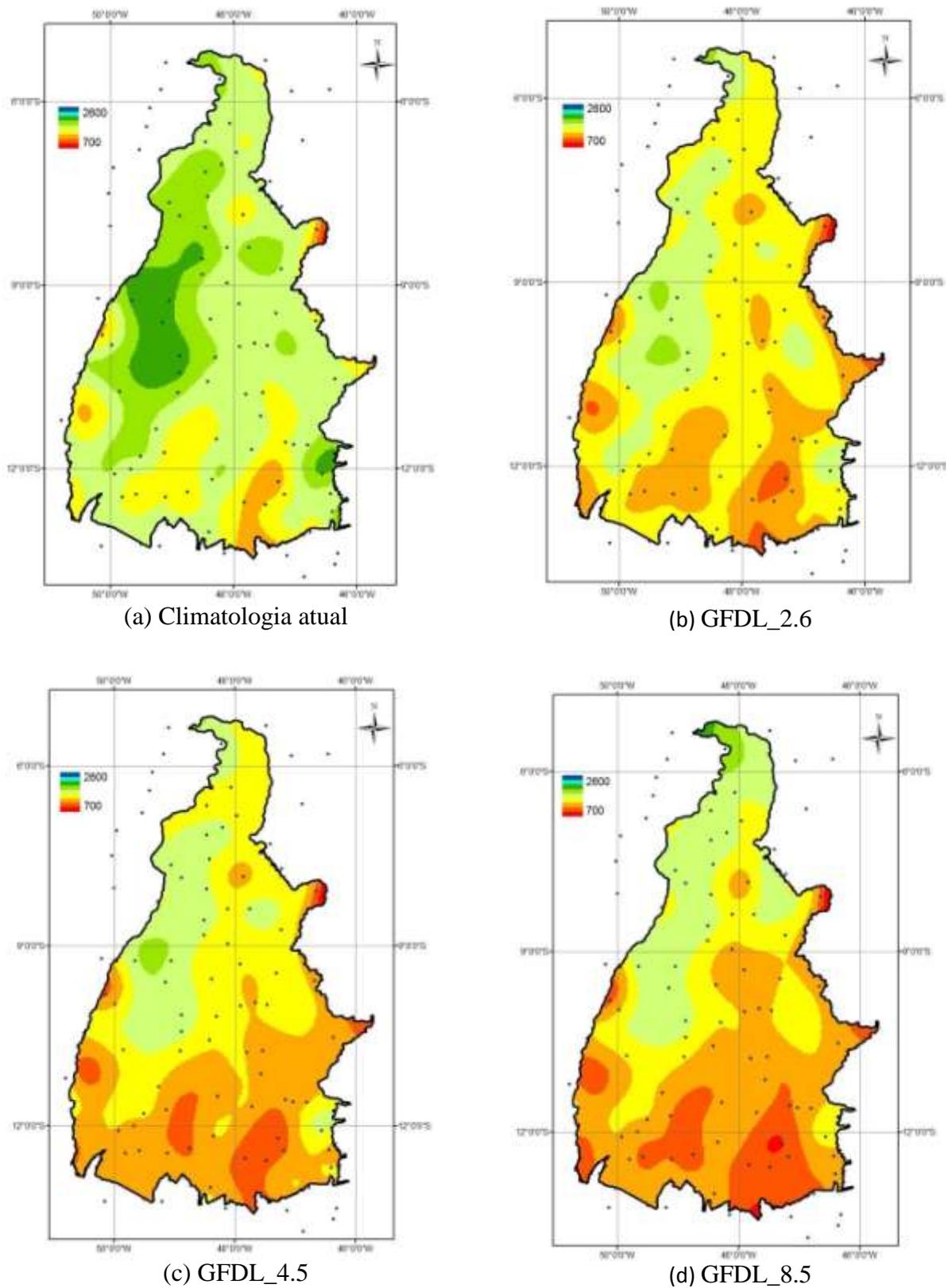


Figura 14 – Precipitação anual – P (mm) referente à: (a) climatologia atual; (b) modelo/cenário GFDL-CM3/RCP 2.6; (c) modelo/cenário GFDL-CM3/RCP 4.5 e (d) modelo/cenário GFDL-CM3/RCP 8.5

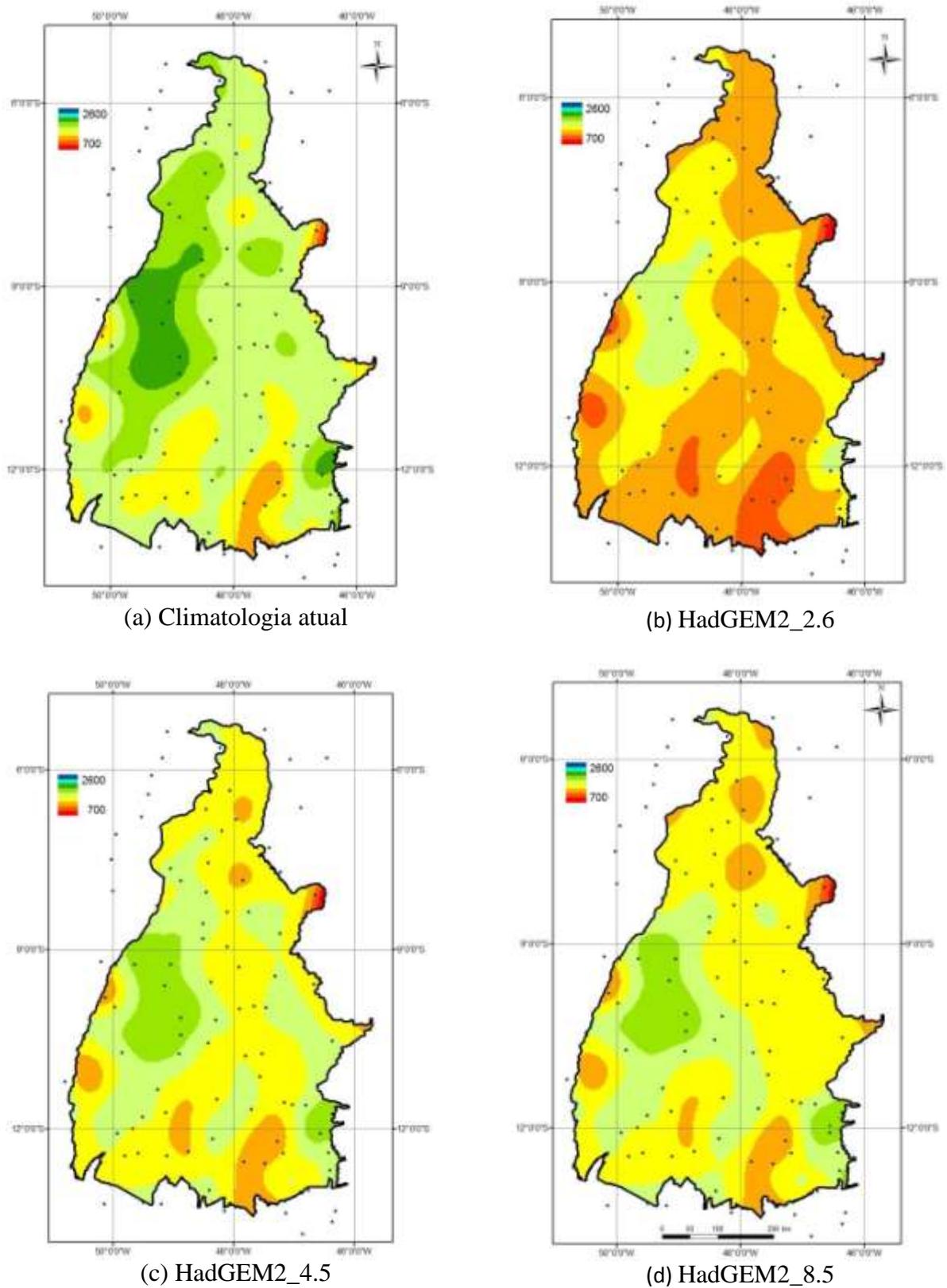


Figura 15 – Precipitação anual – P (mm) referente à: (a) climatologia atual; (b) modelo/cenário HadGEM2-ES/RCP 2.6; (c) modelo/cenário HadGEM2-ES/RCP 4.5 e (d) modelo/cenário HadGEM2-ES /RCP 8.5

Com referência a deficiência hídrica anual (Da), os resultados são apresentados na Tabela 6. Observa-se que as simulações de Da média do Estado para o clima atual e modelo/cenário são consideradas elevadas, para atender as exigências hídricas do *E. urograndins* (SPERANDIO *et al.*, 2010). Com relação a Da máxima verifica-se que passou de 516 mm (clima atual) para 714 mm no modelo/cenário GFDL\_RCP 8.5, gerando um incremento de 38,37%. Já no modelo HadGEM2\_RCP 8.5, ocorreu um aumento de 8,52%, obtendo um valor final de 670 mm. A deficiência hídrica anual mínima se comportou de forma similar a máxima com relação a suas mudanças de acordo com modelo, porém mais expressiva, já que também apresentou um aumento, passando de 42 mm para 220 mm (aumento de 423,8%) no GFDL\_RCP 4.5 e para 232 (452,4%) no HadGEM2\_RCP 4.5.

Para a deficiência hídrica anual média, o cenário atual foi de 255 mm e o cenário GFDL\_RCP 8.5, esse valor chegou a 491 mm aumentando em 92,47% e 460 mm (80,34%) para o modelo HadGEM2\_RCP 8.5. Uma análise mais criteriosa para cada cenário pode ser feita com base na avaliação da tabela abaixo, já que procurou-se evidenciar neste texto somente os cenários mais preocupantes.

Tabela 6 – Valores mínimos, máximos e médios anuais e amplitudes calculadas para o déficit hídrico anual, considerando os modelos e cenários de mudanças climáticas em relação ao clima na condição atual

Modelos/ Cenários	Deficiência hídrica anual – Da (mm)			
	Da mínima	Da máxima	Da média	Amplitude
Clima Atual	42	516	255	474
GFDL_RCP 2.6	204	617	416	413
GFDL_RCP 4.5	220	669	456	449
GFDL_RCP 8.5	220	714	491	494
HadGEM2_RCP 2.6	162	631	437	469
HadGEM2_RCP 4.5	232	629	433	397
HadGEM2_RCP 8.5	215	670	460	455

A distribuição espacial da deficiência hídrica para o clima atual e para os cenários em ambos os modelos pode ser visualizada nas figuras 16 e 17.

No modelo GFDL a região que obteve valores mais altos de deficiência hídrica no cenário 2.6 está localizada a sudoeste, próxima ao paralelo 12, valores semelhantes foram

observados em uma pequena área a nordeste do estado. Com o incremento de temperatura proposto para o cenário intermediário, a região a sudoeste apresentou um aumento no sentido sudeste-centro, nesta projeção ocorreu ainda o aumento da Da em outras localidades a leste do estado, uma acima do paralelo 6, outra entre o paralelo 9 e 12 e uma terceira abaixo deste último paralelo. No cenário pessimista a Da apresentou um crescimento ainda maior do que no cenário intermediário, com o alargamento da extensão das regiões mais críticas, no entanto, a região situada a leste acima do paralelo 6 obteve uma redução da deficiência hídrica.

Algumas diferenças foram observadas na espacialização de valores entre os modelos, uma delas foi o menor crescimento da região a sudoeste no modelo HadGEM2 em relação ao GFDL, a outra foi observada na área a leste (acima do paralelo 6), que no GFDL obteve valores baixos apenas no cenário 4.5, e no outro modelo apresentou uma Da semelhante à área crítica do sudoeste no cenário 2.6.

Produtores de eucalipto têm adotado como medida para amenizar a deficiência hídrica, aumentar os espaçamentos no plantio, melhorando assim a área de solo disponível para cada espécie. Esse procedimento alteraria a evapotranspiração real (ETR) por  $m^2$  de solo.

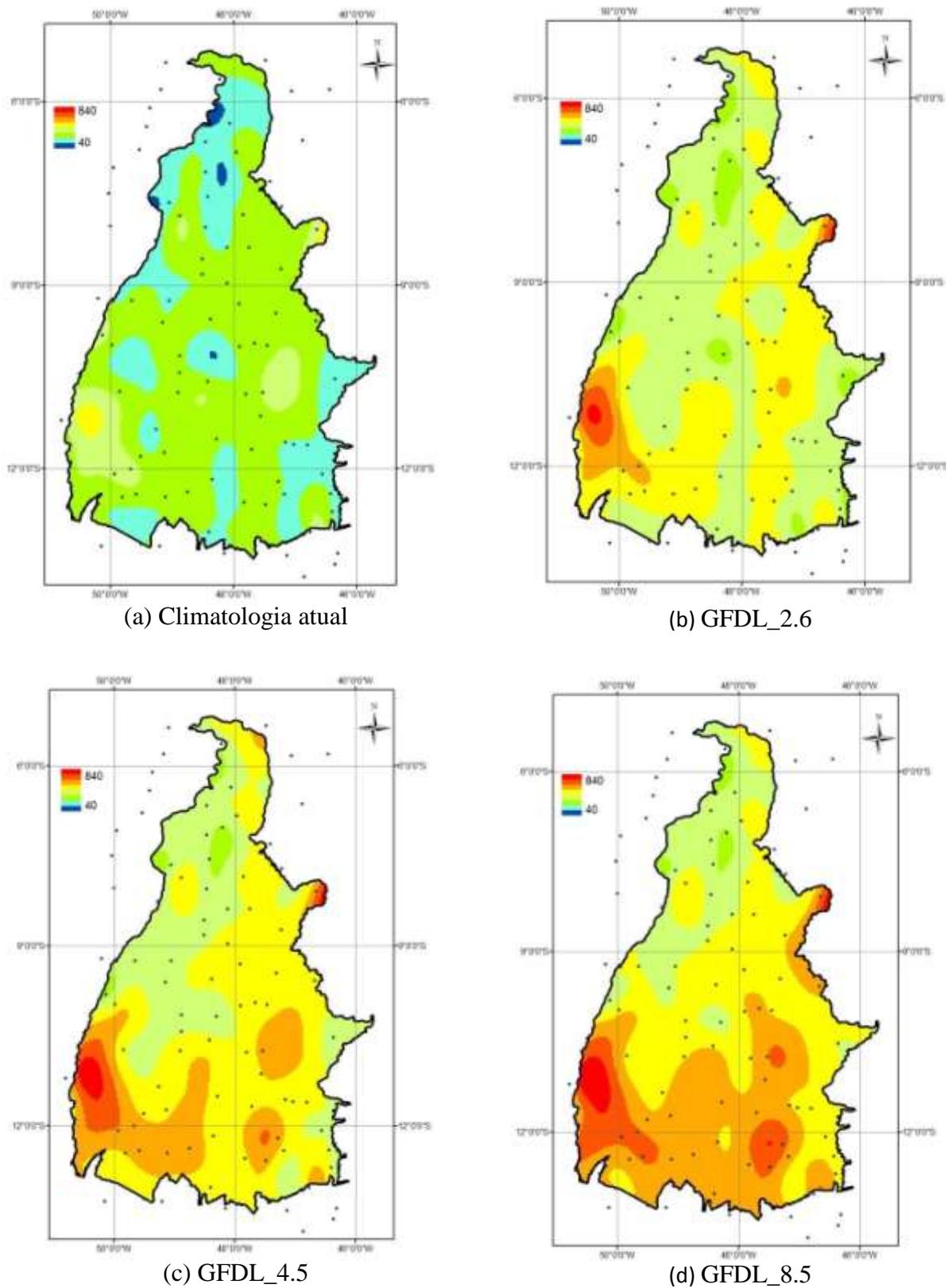


Figura 16 – Déficit Hídrico anual – Da (mm) referente à: (a) climatologia atual; (b) modelo/cenário GFDL-CM3/RCP 2.6; (c) modelo/cenário GFDL-CM3/RCP 4.5 e (d) modelo/cenário GFDL-CM3/RCP 8.5

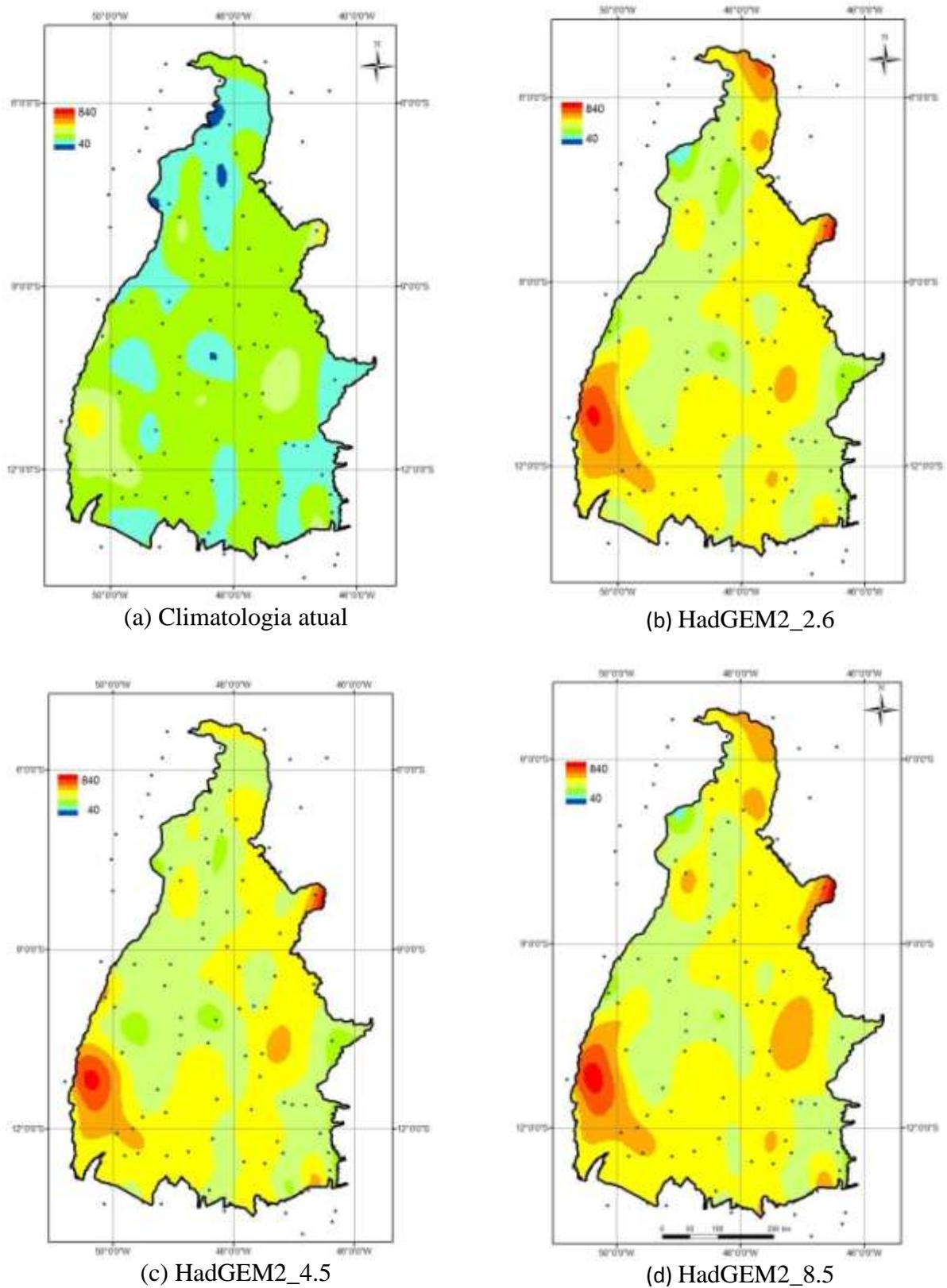


Figura 17 – Déficit Hídrico anual – Da (mm) referente à: (a) climatologia atual; (b) modelo/cenário HadGEM2-ES/RCP 2.6; (c) modelo/cenário HadGEM2-ES/RCP 4.5 e (d) modelo/cenário HadGEM2-ES /RCP 8.5

Comparando as médias dos resultados dos modelos (Tabela 3), constatou-se que em relação ao clima atual houve um incremento na temperatura em ambos os modelos e em todos os cenários. As temperaturas médias anuais foram semelhantes numericamente em todas as classes, sendo o menor aumento (2,2 °C) registrado nos dois modelos para o cenário RCP 2.6 e o maior (3,3 °C), também repetido nos modelos para o cenário RCP 8.5.

Para o modelo GFDL as temperaturas médias apresentaram um aumento 2,2 °C; 2,8°C e 3,3 °C em relação ao clima atual (Tabela 7), atingindo 27,89°C; 28,50°C e 29,00°C para os cenários 2.6, 4.5 e 8.5 respectivamente. No modelo HadGEM2, que apresentou uma temperatura média anual (Ta) com valores menores do que no outro modelo, os mesmos aumentos foram verificados em cada cenário sendo as temperaturas médias 27,85°C; 28,47°C e 28,99°C.

Tabela 7 – Diferenças entre temperatura média anual do modelos/cenários e a temperatura média anual para o clima na condição atual

Modelos/ Cenários	Diferença de Temperatura média anual – Ta (°C)			
	Ta mínima	Ta máxima	Ta média	Amplitude
GFDL_RCP 2.6	1,9	2,4	2,2	0,5
GFDL_RCP 4.5	2,5	3,1	2,8	0,6
GFDL_RCP 8.5	2,7	3,7	3,3	1,0
HadGEM2_RCP 2.6	1,9	2,5	2,2	0,6
HadGEM2_RCP 4.5	2,4	3,0	2,8	0,6
HadGEM2_RCP 8.5	2,8	4,0	3,3	1,2

A diferença de temperatura média anual nos modelos GFDL e HadGEM2 especializada pode ser visualizada nas Figura 18.

Os modelos apresentaram espacializações diferentes entre os cenários. No cenário otimista (2.6) o modelo GFDL apresenta uma área mais extensa em que ocorre um maior incremento, porém, a região do Bico do Papagaio é menos afetada neste modelo. O cenário intermediário (4.5) apresenta um maior acréscimo na região sudoeste do estado em relação ao modelo HadGEM2, enquanto este último apresenta um aumento no norte do Tocantins.

Para a alteração de temperatura prevista no cenário pessimista, os modelos são divergentes na distribuição espacial das temperaturas mais elevadas, sendo estas observadas ao sul, com predominância a sudoeste, no modelo GFDL e ao norte no HadGEM2.

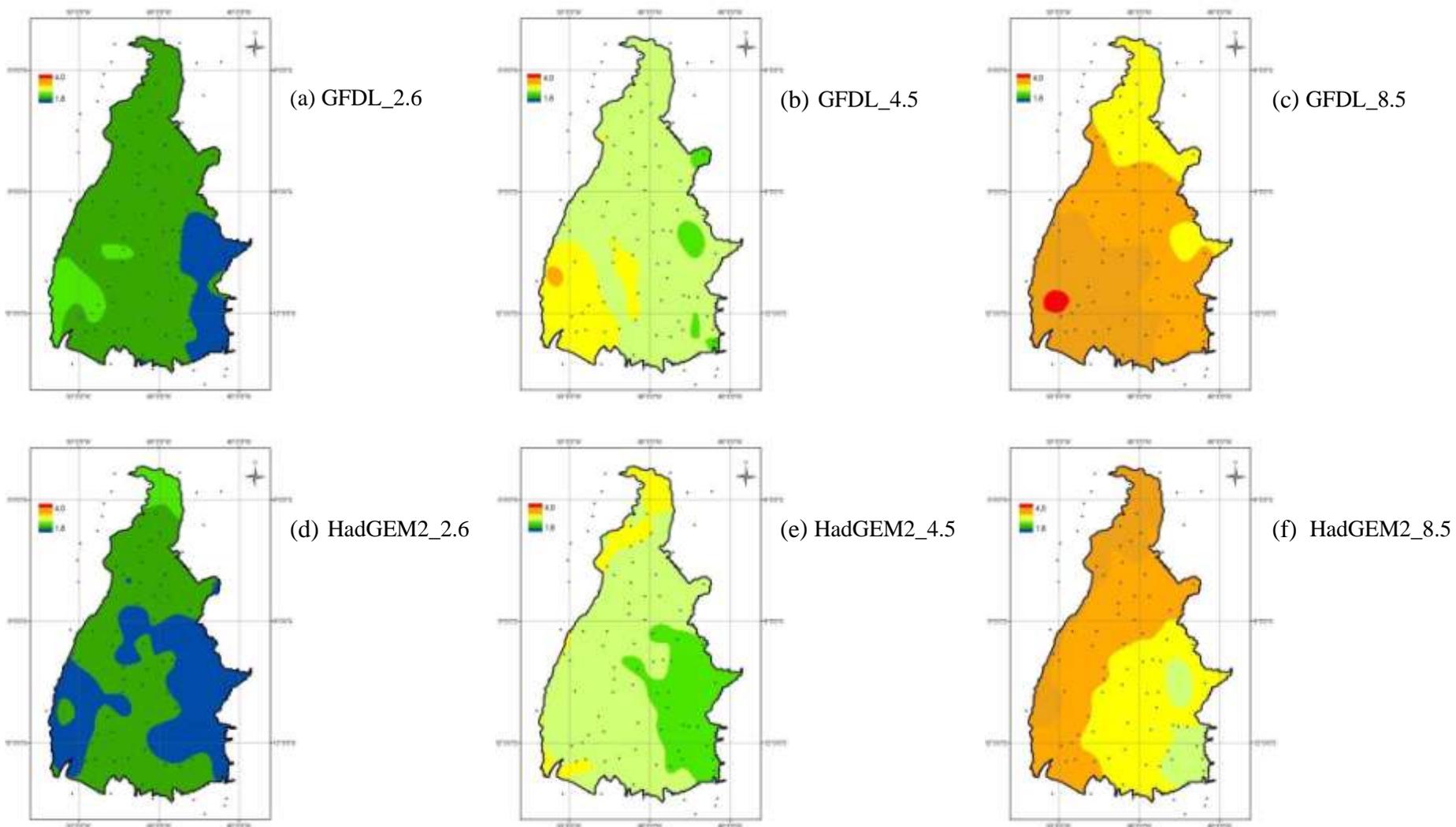


Figura 18 – Diferenças das temperaturas provenientes dos modelos/cenários: (a) GFDL-CM3/RCP 2.6; (b) GFDL-CM3/RCP 4.5; GFDL-CM3/RCP 8.5; (d) HadGEM2-ES/RCP 2.6; (e) HadGEM2-ES/RCP 4.5 e HadGEM2-ES/RCP 8.5 (°C), para o período de 2041 a 2060, e da temperatura média anual da climatologia atual (°C)

Quanto à precipitação, ressalta-se que em relação à climatologia atual, houve um decréscimo na precipitação média anual nos dois modelos (Tabela 8). O maior decréscimo no modelo GFDL foi o (17,50%) ocorrido no cenário 8.5, com 285 mm, fazendo a precipitação decair de 1662 mm para 1380 mm. Já a maior redução observada no modelo HadGEM2, foi no cenário 2.6, com 198 mm, a qual diminuiu de 1662 mm para 1301 mm, representando 11,73%.

A precipitação anual mínima diminuiu em todos os cenários/modelos, tendo o maior decréscimo o ocorrido no cenário 8.5 de ambos modelos, sendo 480 mm no GFDL e 553 mm no HadGEM2. Na análise da precipitação anual máxima, houve apenas um incremento de 173 mm no cenário 8.5 do modelo GFDL e decréscimo nos demais cenários deste. Já no modelo HadGEM2 um decréscimo de 23 mm ocorreu apenas no cenário 2.6 e nos outros cenários constatou-se aumento.

Tabela 8 – Diferenças entre precipitação anual do modelos/cenários e a precipitação anual para o clima na condição atual

Modelos/ Cenários	Diferença de precipitação anual – P (mm)				
	Maior Redução	Maior Aumento ou Menor Redução	P média	Amplitude	Percentual médio de Redução <sup>1</sup>
GFDL_RCP 2.6	-368	-4	-227	364	13,78%
GFDL_RCP 4.5	-395	-48	-270	347	16,56%
GFDL_RCP 8.5	-480	173	-285	653	17,50%
HadGEM2_RCP 2.6	-326	-23	-198	303	11,73%
HadGEM2_RCP 4.5	-396	13	-150	409	8,82%
HadGEM2_RCP 8.5	-553	23	-174	576	10,09%

<sup>1</sup> Variação da precipitação anual média dos modelos/cenários, em relação à precipitação anual do clima atual

Na Figura 19 encontra-se a espacialização da diferença de precipitação anual nos modelos/cenários estudados.

Observa-se pela Tabela 8, de forma geral para todos os modelos/cenários, que em média ocorrerá reduções da precipitação no estado do Tocantins e que a variável de redução estimada terá como mínima de 8,82% (HadGEM2\_RCP 4.5) e máxima de 17,50% (GFDL\_RCP 4.5).

Nota-se também que as maiores reduções de precipitação ocorrerão para o modelo GFDL. Possivelmente isso se deve ao fato do modelo HadGEM2 estar realizando simulações com a colaboração do governo brasileiro por meio do INPE, o que pode proporcionar um caráter mais regional ao modelo, melhorando assim as previsões quanto à precipitação.

A análise espacial da precipitação (Figura 19), mostra onde ocorrerá maior contraste entre os modelos, demonstrando que o GFDL apontou uma maior redução da precipitação à medida que os cenários ficam mais pessimistas.

No modelo GFDL apenas no cenário 8.5 ocorreu um aumento na precipitação que se concentrou ao norte do Estado na região do Bico do Papagaio. Este mesmo cenário apresentou também a maior redução da precipitação (480 mm) do modelo, sendo as regiões com maiores decréscimos de precipitação localizadas abaixo do paralelo 9 à sudoeste e a sudeste.

Na espacialização dos resultados do modelo HadGEM2, nota-se que houve uma inversão em relação ao GFDL, pois apresentou um aumento em dois cenários, o 4.5 e o 8.5, além de concentrar as áreas com menores reduções de precipitação na região sudeste e sudoeste do Estado. Outra discrepância encontrada entre os modelos refere-se às maiores reduções: as do HadGEM2 ocorreram no cenário otimista (2.6) e as do GFDL no pessimista (8.5).

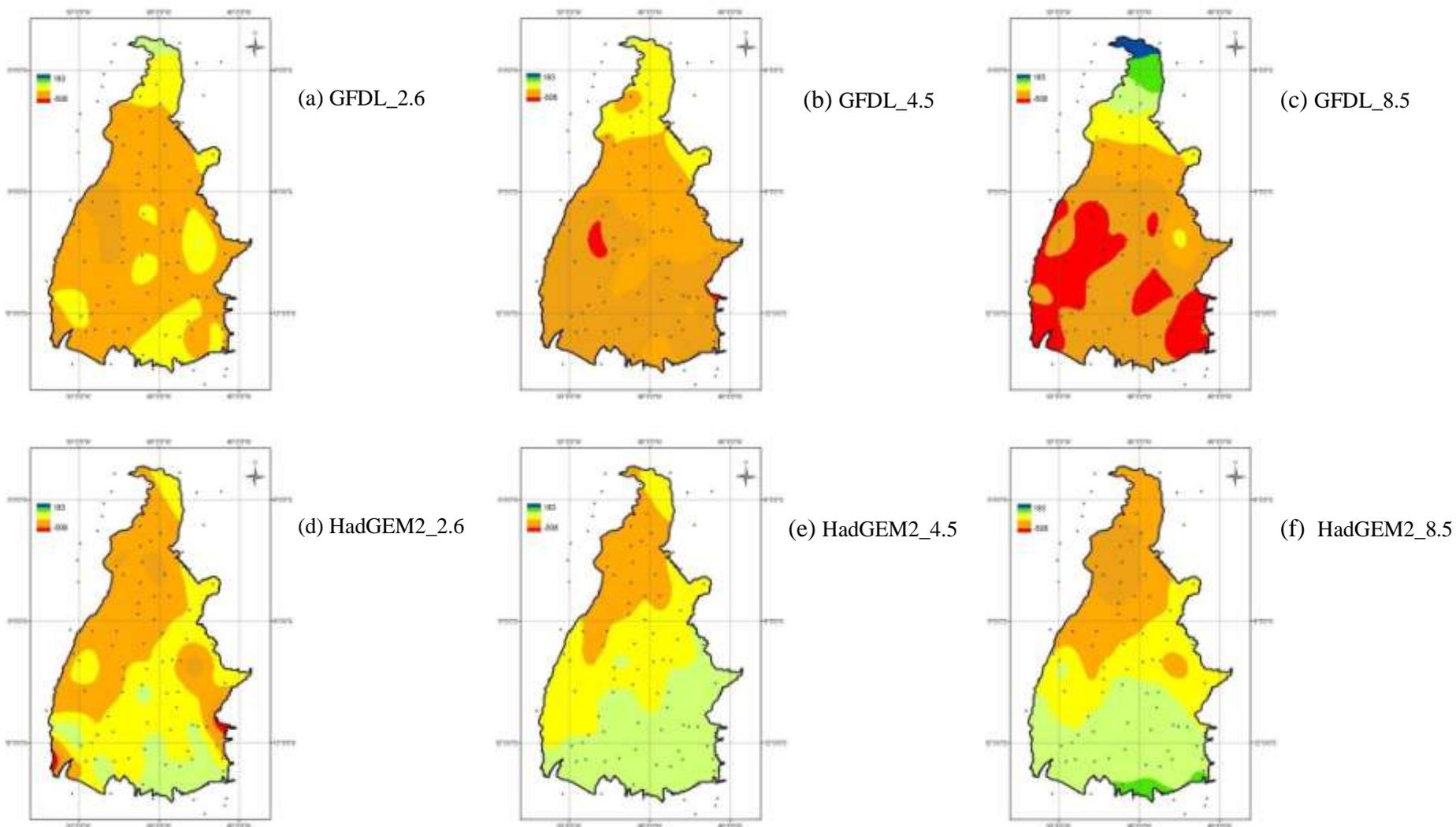


Figura 19 – Diferenças das precipitações provenientes dos modelos/cenários: (a) GFDL-CM3/RCP 2.6; (b) GFDL-CM3/RCP 4.5; GFDL-CM3/RCP 8.5; (d) HadGEM2-ES/RCP 2.6; (e) HadGEM2-ES/RCP 4.5 e HadGEM2-ES/RCP 8.5 (mm), para o período de 2041 a 2060, e da precipitação anual da climatologia atual (mm)

Espacialmente a distribuição dos valores correspondentes às diferenças de Da de cada modelo e dos seus cenários pode ser visualizada na Figura 20. Cada modelo/cenário mostrou variações na distribuição desta diferença.

O cenários 4.5 do modelo HadGEM2 foi o único que não apresentou redução na Da, nos outros cenários o decréscimo variou em intensidade sendo os maiores obtidos no cenário 2.6 de ambos modelos. Quanto aos incrementos, estes ocorreram em todos os cenários, com valores mais expressivos do que as reduções e sendo as maiores diferenças observadas no cenário 8.5 de cada modelo (Tabela 9).

A distribuição espacial da redução do Da foi semelhante entre os modelos, sendo espacializada em uma pequena região a oeste do estado entre o meridiano 50 e o paralelo 9. Apenas três cenários apresentaram mais regiões com redução de deficiência hídrica: o 2.6 do modelo GFDL com uma região a leste do meridiano 50 entre os paralelos 9 e 12, o 2.6 do HadGEM2 que além desta, em menor extensão, mostrou outra a noroeste do estado que também foi visualizada no cenário 8.5 do mesmo modelo.

No modelo GFDL observou-se que à medida que o cenário transita do otimista para os outros dois o déficit hídrico aumenta, evoluindo da parcela sudoeste do estado para a sudeste/centro, tendo o cenário pessimista apresentado três áreas mais críticas localizadas a oeste entre os paralelos 9 e 12, a leste do meridiano 48 cortada pelo paralelo 12 e a terceira região abaixo deste paralelo e entre os meridianos 50 e 48.

No HadGEM2 ocorre um avanço semelhante ao outro modelo entre os cenários, no entanto a parte acima do paralelo 6 a norte do estado apresenta uma maior Da nesse modelo, essa área ainda apresentou sua maior extensão no cenário 2.6. Quanto ao cenário intermediário esse parâmetro diminui na região conhecida como “Bico-do-Papagaio”.

Tabela 9 – Diferenças entre deficiência hídrica anual do modelos/cenários e a deficiência hídrica média anual para o clima na condição atual

Modelos/ Cenários	Diferença de Déficit Hídrico anual – Da (mm)			
	Maior Redução ou Menor Aumento	Maior Aumento	Da média	Amplitude
GFDL_RCP 2.6	-112	243	160	355
GFDL_RCP 4.5	-71	330	201	401
GFDL_RCP 8.5	-10	428	236	438
HadGEM2_RCP 2.6	-122	333	182	455
HadGEM2_RCP 4.5	44	254	178	210
HadGEM2_RCP 8.5	-78	350	205	428

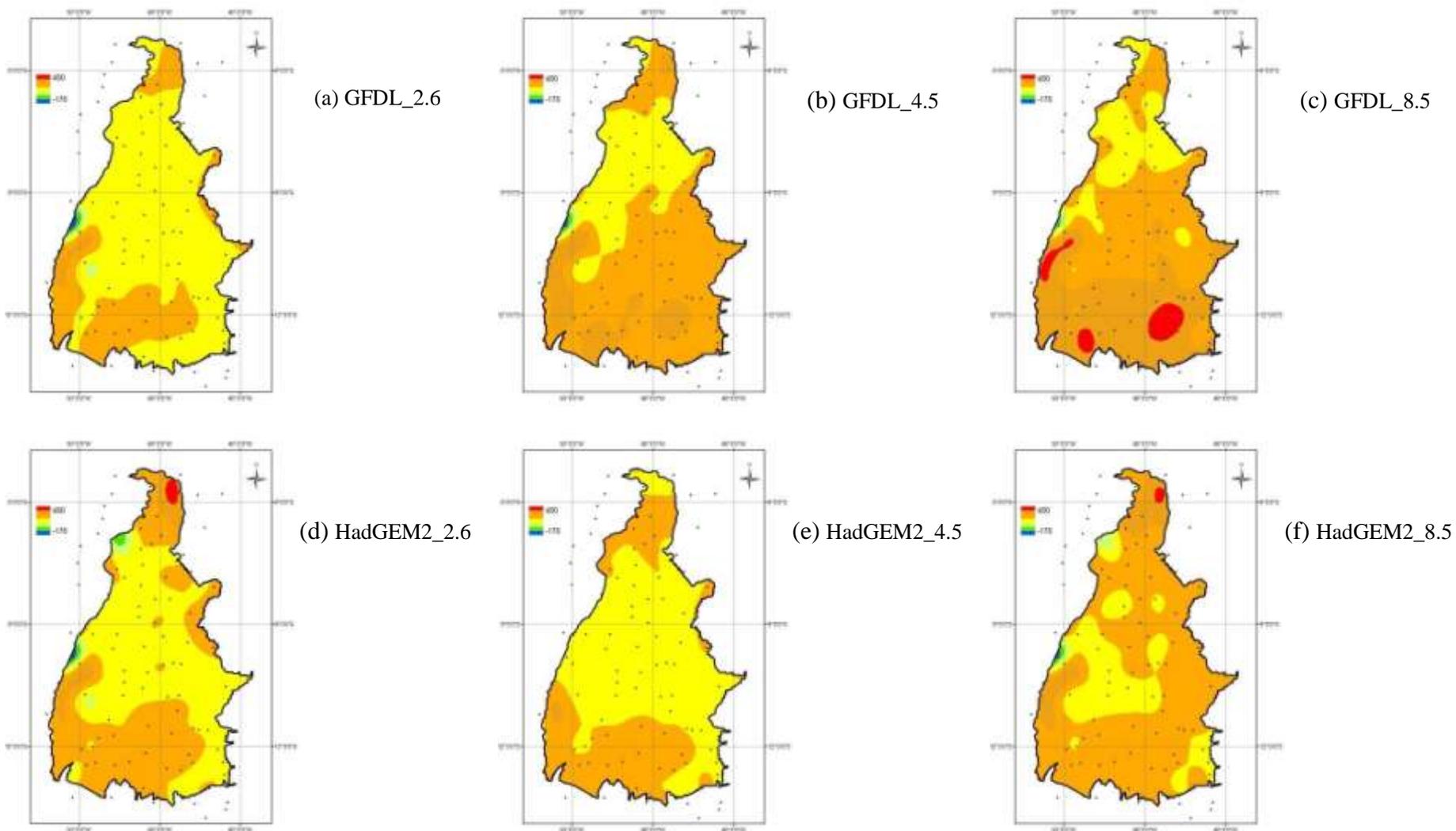


Figura 20 – Diferenças das deficiências hídricas provenientes dos modelos/cenários: (a) GFDL-CM3/RCP 2.6; (b) GFDL-CM3/RCP 4.5; GFDL-CM3/RCP 8.5; (d) HadGEM2-ES/RCP 2.6; (e) HadGEM2-ES/RCP 4.5 e HadGEM2-ES/RCP 8.5 (mm), para o período de 2041 a 2060, e da deficiência hídrica anual da climatologia atual (mm)

Ressalta-se que esses aumentos na temperatura simulados pelos modelos/cenários foram projetados para ocorrer daqui há aproximadamente 25 anos, o que merece atenção tendo em vista que o aumento médio da temperatura global do século XX foi registrado em 0,6°C (IPCC, 2007; MARENGO, 2006) e sendo os obtidos neste trabalho mais elevados do que este.

Ao comparar o zoneamento agroclimático para o *Eucalyptus urograndis* no estado do Tocantins para o clima atual com os zoneamentos produzidos a partir dos resultados das simulações dos modelos e cenários: GFDL\_RCP 2.6, GFDL\_RCP 4.5, GFDL\_RCP 8.5, HadGEM2\_RCP 2.6, HadGEM2\_RCP 4.5 e HadGEM2\_RCP 8.5, nota-se uma alteração extrema com relação à aptidão desta cultura.

A área apta apresentada na climatologia atual passou de 0,71% (1.971 Km<sup>2</sup>) a 0% (Tabela 10) para todos os cenários nos dois modelos devido à temperatura projetada não ser adequada ao cultivo desta espécie.

No modelo GFDL apesar de não ocorrer áreas “aptas” houve uma diminuição significativa na área “inapta” e um aumento na “restrita” passando a classe “inapta” de 19,63% ou seja 54.497 Km<sup>2</sup> (clima atual) para apenas 0,07 (194 Km<sup>2</sup>), 0,03 (84 Km<sup>2</sup>) e 1,02 (2.832 Km<sup>2</sup>) nos cenários RCP 2.6, 4.5, e 8.5 respectivamente e a classe de aptidão “restrita” de 63,33% ou 175.817 Km<sup>2</sup> (clima atual) para 99,92% (277.399 Km<sup>2</sup>), 99,97% (277.399 Km<sup>2</sup>) e 99,98% (274.789 Km<sup>2</sup>). Outra classe que sofreu diminuição para o aumento da “restrita” foi a “marginal” caindo de 16,33% (45.335 Km<sup>2</sup>) (clima atual) para 0,01% (28 Km<sup>2</sup>) no cenário RCP 2.6 e para 0% nos outros.

No cenário RCP 2.6 deste modelo é quase imperceptível na espacialização (Figura 21) a área “marginal” e a “inapta” devido às suas pequenas dimensões. A “marginal” localiza-se no extremo sudeste e a “inapta”, dividida em duas áreas, no extremo norte do Tocantins (na “ponta” da região do Bico do Papagaio) e a nordeste do estado, a primeira inapta pelo excesso de precipitação e segunda pela baixa precipitação.

Com a mudança climática prevista para o cenário intermediário (RCP 4.5) não se observa mais a classe “inapta” na região do Bico, mas uma pequena porção centro-oeste abaixo do paralelo 9 passa a ser visualizada pelo aumento da precipitação na região, e a região a nordeste já prevista no cenário RCP 2.6 permanece. No cenário RCP 8.5 deste modelo a área “inapta” a noroeste desaparece e a distribuição desta classe de aptidão então se assemelha à do cenário RCP 2.6 na localização, no entanto com extensões maiores.

O modelo HadGEM2 apresentou diferenças quanto ao GFDL, tanto na extensão das áreas quanto em sua distribuição espacial (Figura 22). Uma semelhança entre eles é a inexistência de áreas “aptas” e a predominância da área “restrita”.

A área “marginal” diminuiu em todos os cenários, decaindo de 16,33% ou 45,335 Km<sup>2</sup> (clima atual) para 0,09% (250 Km<sup>2</sup>) no cenário otimista, chegando a 0% no intermediário e tendo um pequeno aumento de 0,01% (28 Km<sup>2</sup>) em relação a este no pessimista.

A região da classe de aptidão climática “restrita”, como no modelo GFDL, foi a que obteve maior aumento, tendo ele sido o mais elevado no cenário RCP 2.6, chegando a 99,87% (277.260 Km<sup>2</sup>), seguido do RCP 8.5 com 94,21% (261.547 Km<sup>2</sup>) de área “restrita”. A menor extensão desta classe no HadGEM2 foi observada no cenário RCP 4.5.

A classe “inapta”, assim como a “apta” e a “marginal”, também diminuiu em relação à climatologia atual, tendo a maior extensão atingido o valor de 7,30% (20.266 Km<sup>2</sup>) no cenário RCP 4.5 e a menor (0,04% ou 112 Km<sup>2</sup>) no RCP 2.6.

Quanto à espacialização no cenário RCP 2.6 a área “marginal” ocorre em sua maioria a noroeste devido ao déficit hídrico estar dentro das necessidades da cultura e uma pequena parcela no extremo sudeste pelo mesmo motivo, como no modelo GFDL, a região “inapta”, quase imperceptível na espacialização ocorre no extremo nordeste, também semelhante ao modelo GFDL.

Com a alteração climatológica prevista para o cenário intermediário, além da temperatura, a pluviosidade e o déficit hídrico também se fazem limitantes ao cultivo em algumas regiões.

Tais regiões, localizadas uma a oeste do estado (cortada pelo paralelo 9) e outra a sudeste (cortada pelo paralelo 12) deixam de ser “restrita” e passam a fazer parte da classe “inapta”. Situação semelhante ocorre no cenário RCP 8.5, porém com uma diminuição na extensão destas e o acréscimo da área “marginal” no extremo sudeste que volta a ter sua deficiência hídrica enquadrada nos requisitos de cultivo como no cenário RCP 2.6.

Observa-se uma mesma tendência do Estado, ter uma ampla área de aptidão “restrita” para o cultivo do *E. urograndis* em todos os modelos/cenários daqui há aproximadamente 25 anos. Contudo, nota-se uma divergência quando compara-se os resultados dos modelos para os cenários RCP 4.5 e 8.5, onde verifica-se a existência de áreas significativas de inaptidão ao cultivo da espécie para o modelo HadGEM2-ES (Figura 21 e 22 e Tabela 10).

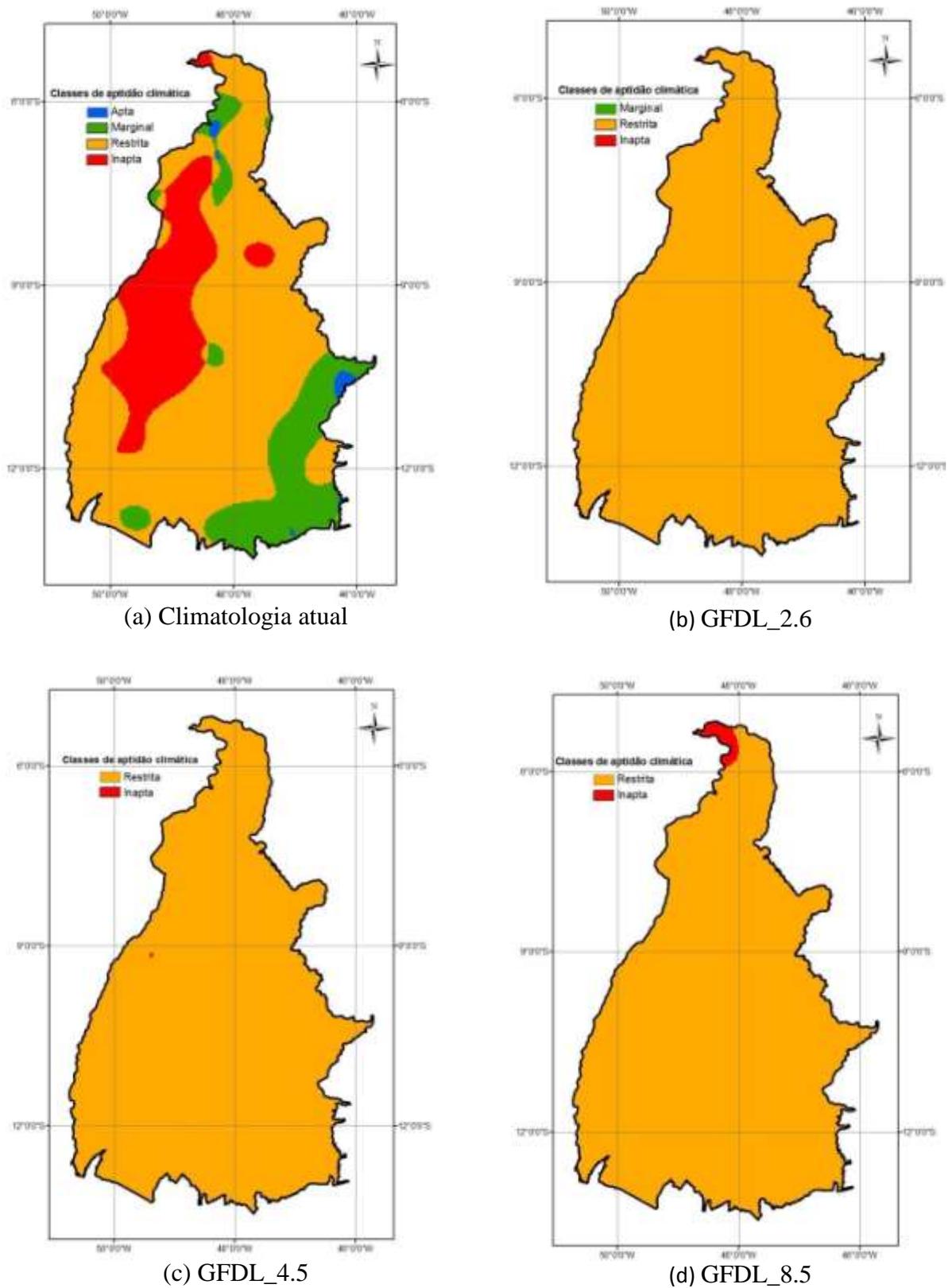


Figura 21 – Zoneamento agroclimático para a cultura de *Eucalyptus urograndis* no estado do Tocantins referente à: (a) climatologia atual; (b) modelo/cenário GFDL-CM3/RCP 2.6; (c) modelo/cenário GFDL-CM3/RCP 4.5 e (d) modelo/cenário GFDL-CM3/RCP 8.5; para o período de 2041 a 2060

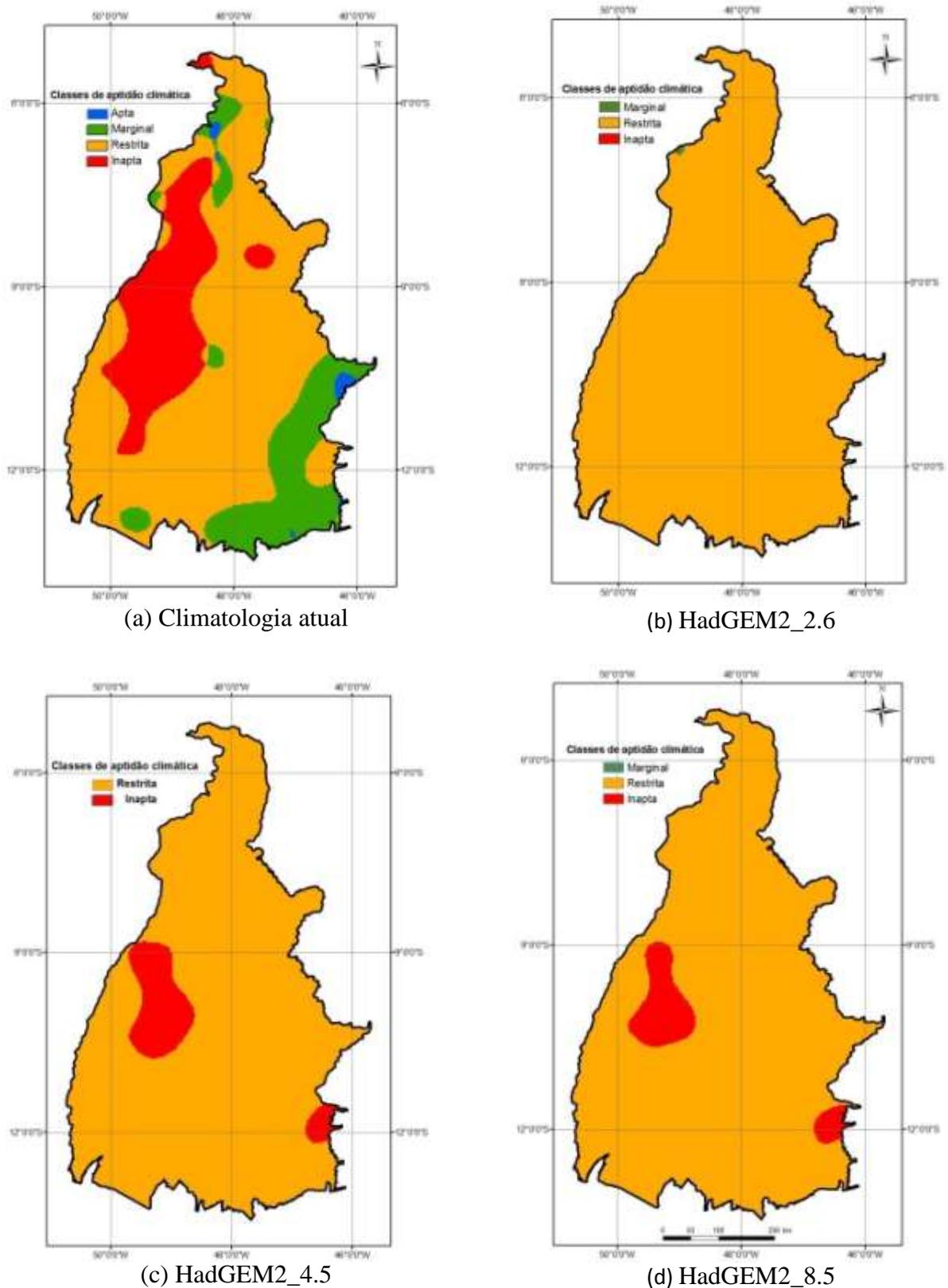


Figura 22 – Zoneamento agroclimático para a cultura de *Eucalyptus urograndis* no estado do Tocantins referente à: (a) climatologia atual; (b) modelo/cenário HadGEM2-ES/RCP 2.6; (c) modelo/cenário HadGEM2-ES/RCP 4.5 e (d) modelo/cenário HadGEM2-ES/RCP 8.5; para o período de 2041 a 2060

Tabela 10 – Área estimada do estado do Tocantins em percentual, por classe de aptidão climática para o plantio de *Eucalyptus urograndis* resultante da simulação dos distintos modelos e cenários de mudanças climáticas, em relação ao clima na condição atual

Modelos/ Cenários	Área do Estado por classe de aptidão climática <sup>1</sup>							
	Apta		Marginal		Restrita		Inapta	
	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
Clima Atual	1.971	0,71	45.335	16,33	175.817	63,33	54.497	19,63
GFDL_RCP 2.6	0	0	28	0,01	277.399	99,92	194	0,07
GFDL_RCP 4.5	0	0	0	0	277.538	99,97	84	0,03
GFDL_RCP 8.5	0	0	0	0	274.789	98,98	2.832	1,02
HadGEM2_RCP 2.6	0	0	250	0,09	277.260	99,87	112	0,04
HadGEM2_RCP 4.5	0	0	0	0	257.355	92,70	20.266	7,30
HadGEM2_RCP 8.5	0	0	28	0,01	261.547	94,21	16.046	5,78

<sup>1</sup> Área aproximada estimada pelo SIG

Quando comparados os modelos, ambos mostraram um aumento significativo da temperatura em todos os cenários, o que definiu a inexistência da área da classe de aptidão “apta” nos zoneamentos.

Ainda sob comparação, agora do cenário RCP 2.6 de cada modelo, o GFDL mostrou-se mais pessimista por apresentar uma maior área “inapta” e “restrita” e uma menor “marginal” em relação ao HadGEM2.

Já no cenário intermediário isto muda, sendo o HadGEM2 mais criterioso e apresentando uma maior área de inaptidão a sudeste cortada pelo paralelo 12 e a oeste do estado entre o paralelo 9 e 12 que não ocorre no modelo GFDL.

A divergência entre os modelos continua no cenário RCP 8.5, tendo permanecido essa região “inapta” do cenário RCP 4.5 no modelo HadGEM2 com uma diminuição de sua largura e ocorrido uma pequena parcela “marginal”; no modelo GFDL a classe “inapta” continua sendo menor em relação ao HadGEM2 e apresenta-se na região do Bico do Papagaio.

Apesar dos contrastes percebidos entre os modelos analisados no trabalho, é possível afirmar que haverá uma acentuação do efeito da temperatura e da deficiência hídrica em todos os cenários futuros, extinguindo as regiões “aptas” e diminuindo significativamente as “marginais”, colocando quase a totalidade do estado na condição de aptidão “restrita” para o cultivo de *Eucalyptus urograndis*.

Nas regiões de aptidão “marginal”, onde o único quesito desfavorável é a temperatura, o plantio desta espécie de eucalipto, já se mostra inviável por ser este fator impassível de controle, a não ser que a pesquisa científica desenvolva geneticamente novos cultivares que sejam tolerantes a altas temperatura e/ou a deficiência hídrica.

Na classe de aptidão “restrita” o déficit hídrico soma-se à temperatura para limitar o cultivo, como foi apresentado, a irrigação não é um recurso interessante economicamente nesta cultura por elevar demasiadamente o custo de produção, além de poder causar problemas na disponibilidade de água em algumas regiões.

Dessa forma seria necessário a implantação de técnicas de plantio em mosaico, levando em consideração a diferença de idade das espécies, gerando sombreamento nas mais novas e também que seja adotado o plantio em áreas com arborização nativa presente, o que conseqüentemente contribuirá para redução de até 1<sup>o</sup>C da temperatura local, melhorando assim a temperatura do ar e diminuindo a deficiência hídrica.

### 3. CONCLUSÕES

O presente estudo verificou a aptidão agroclimática para o cultivo de *Eucalyptus urograndis* no estado do Tocantins, e constatou que não ocorrerá restrição a precipitação para o cultivo em quase todo Estado levando em considerações as condições climáticas atuais, bem como para os cenários e modelos propostos para climatologia futura.

Já com relação a temperatura, a mesma encontrou-se “inapta” em todo o Estado, fazendo com que o déficit hídrico apresentasse altos valores, não se enquadrando, no que se considera “apto” para o plantio. Recomenda-se assim medidas como pesquisas na área de melhoramento genético que busque, por exemplo, a identificação de materiais genéticos que apresentem tolerância às altas temperaturas e à deficiência hídrica.

Comparando o zoneamento agroclimático para a espécie utilizando os dois modelos, observou-se que nenhum deles proporcionou áreas “aptas” ao cultivo do *E. urograndis*. Percebe-se que o modelo GFDL obteve menor área “marginal” e “inapta”, quando comparado com o HadGEM2.

O crescimento do setor da silvicultura para a região norte do país e com projeções de expansão da área de plantio do eucalipto, o zoneamento agroclimático para o *Eucalyptus urograndis* no Tocantins contribuirá de diversas formas como: a) auxiliar os produtores na tomada de decisão, quanto aos locais de instalação dos seus empreendimentos, gerando mais confiabilidade no recurso investido; b) subsidiar pesquisas científicas para a cultura do eucalipto, levando-se em consideração os pilares da sustentabilidade (impactos sociais, econômicos e ambientais); c) determinar regiões favoráveis a implantação de centros de pesquisas que visem buscar avanços tecnológicos para a espécie; d) e subsidiar o governo (vendo que o estado do Tocantins faz parte da Amazônia Legal), na elaboração de políticas públicas agroambientais voltadas a expansão da cultura de forma controlada, sem que haja prejuízos ambientais para o Estado.

Com os cenários utilizados para previsão das mudanças climáticas notou-se que houve um aumento significativo no déficit hídrico e na temperatura, e, com relação a precipitação, houve regiões que obteve aumento, mas, num contexto geral, predominou-se a redução desse parâmetro. Porém os resultados dos modelos foram discrepantes para a variável de precipitação em regiões do Estado.

Devido a estes valores encontrados, o estado do Tocantins, quase em sua totalidade, se enquadrou na faixa de aptidão “Restrita”, em que apenas um dos três parâmetros (temperatura, precipitação e déficit hídrico) se enquadra como “apto” ao plantio, nesse caso, o parâmetro que se enquadrou foi a precipitação. Este enquadramento torna-se preocupante na medida em que inclui a região norte, mais especificamente as microrregiões de Araguaína e do Bico do Papagaio que são hoje as principais áreas de plantio de eucalipto no Estado.

Outra sugestão que fica para novos estudos é a definição exata do CAD em cada região do estado, vendo que o Tocantins é um estado de grande extensão territorial, possuindo características distintas do solo de uma região para outra.

Atualmente o eucalipto tem desenvolvido uma importante função como instrumento de recuperação de áreas degradadas (RAD) através de sistemas agrosilvipastoris, mitigando impactos na maioria das vezes gerados pela pecuária, dessa forma, sugere-se, neste caso, a criação de um Centro de Recuperação de Áreas Degradadas (CRAD) onde seja realizados estudos de melhoramento genético da espécie de *Eucalyptus urograndis* no Tocantins.

Os prognósticos simulados por este estudo, trata-se de um horizonte temporal próximo ao presente, aproximadamente 25 anos (2041 á 2060), o que reforça a importância de se iniciar um planejamento estratégico de combate as mudanças do clima, que possa antecipar ações a serem tomadas para mitigação de possíveis impactos (social, ambiental e econômico). Sugere-se que este planejamento deve pautar-se sobre dois eixos principais. O primeiro deverá atuar no sentido de que o Estado adote políticas de redução de gases do efeito estufa,. O Segundo eixo, trata-se de estudos científicos (a exemplo deste trabalho) voltados à espécie estudada, buscando sua adaptação às condições não favoráveis identificadas, pois, a mesma tem se tornado cada vez mais importante ao desenvolvimento econômico do Estado e do país.

Por fim, é necessário que novos estudos mais pontuais sejam realizados com relação a cultura do *Eucalyptus urograndis*, tendo que ser garantido, através do poder público e da iniciativa privada, investimentos financeiros, possibilitando assim, que planos de ações na área de novas tecnologias sejam elaborados, implantados e executados.

## REFERÊNCIAS

ABRAF. Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantas. **Anuário estatístico ABRAF 2013 ano base 2012**. Brasília: ABRAF, 2013. 148 p.

ALCAMO, J. **Scenarios as tools for international environmental assessments**. Environmental issue report. Centre for Environmental Systems Research. 2001.

ALFENAS, A. C.; ZAUZA, E. A. V.; MAFIA, R. G.; ASSIS, T. F. de. **Clonagem e doenças do eucalipto**. Viçosa: Ed. UFV, 2004. 442p.

ALMEIDA, T. S., CALIJURI, M. L., PINTO, L. B. Zoneamento agro-climático da cana-de-açúcar para o estado de Minas Gerais com base em regressões múltiplas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.28, n.3, 352 - 355, 2013.

ALVES, A. M. C. **Quantificação da produção de biomassa e do teor de carbono fixado por clones de eucalipto, no polo gesseiro do Araripe – PE**. 2007, 75 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2007.

ASSAD, E. A.; PINTO, H. S.; ZULLO JUNIOR, J.; ÁVILA, A.M. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p.1057-1064, nov. 2004.

ASSAD, E. A.; PINTO, H. S.; ZULLO JUNIOR, J. Impacts of global warmin in the brazilian agroclimatic risk zoning. In: DIAS, P.L. da S.; RIBEIRO, W. C.; NUNES, L.H. **A contribution to understanduig the regional impacts of global change in South America**. São Paulo: IEA/USP, 2007. p. 175 – 182.

BARBARISI, B.F.; MARIN, F.R.; ASSAD, E.A.; PILAU, F.G.; PACHECO, L.R.F. Efeito das mudanças climáticas sobre a aptidão climática para a cana-de-açúcar no estado de Goiás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15, 2007. Aracaju. **Anais...Aracaju: SBA, 2007**.

BEZERRA, B. G., ARAÚJO, J. S., PEREIRA, D. D., LAURENTINO, G. Q., SILVA, L. L. Zoneamento agroclimático da palma forrageira (*Opuntia* sp.) para o estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.7, p.755–761, 2014.

BHERING, S. B., SILVA, C. C., CARVALHO JUNIOR, W., PEREIRA, N. R., AMARAL, F. C. S., ZARONI, M. J., GONÇALVES, A. O. Geotecnologias aplicadas ao zoneamento agroecológico do estado do Mato Grosso do Sul. **Soc. & Nat.**, Uberlândia, 26 (1): 171-187, jan/abr/2014.

BOOTH, T. H.; PRYOR, L. D. Climatic requirements of some commercially important eucalypt species. **Forest Ecology and Management**, v. 43, n. 1-2, p. 47-60, 1991.

BRASIL. **Lei nº 4.829/65**. Brasília, 2014. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L4829.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L4829.htm)>. Acesso em: 10 jul. 2014.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Zoneamento agroclimático eucalipto para o Estado de São Paulo, 2010**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2010. Portaria 198. p. 4

BRITO, J. O. ; BARRICHELO, L. E. G. Características do eucalipto como combustível: análise química imediata da madeira e da casca. **Ipef**, v. 16, p. 63-70, 1978.

CASTRO, F. da S. **Zoneamento agroclimático para a cultura do Pinus no estado do Espírito Santo**. 2008. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal), Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, 2008. 101 p.

CATHARINO, E. L. Eucalipto. **Árvore do Mês**, Instituto de Botânica de São Paulo, São Paulo, 2012.

CARNEIRO, M. A; DANIEL, O; VITORINO, A. C. T; COMUNELLO, E. Aptidão da Bacia do Rio Dourados para o cultivo de algumas espécies de eucaliptos. **Floresta**, Curitiba, v. 36, n. 3, set./dez. 2006.

CIB, Conselho de Informações sobre Biotecnologia. **Eucalipto: oportunidades para um desenvolvimento sustentável**. junho, 2008. 20 p.

CMIP5. **IPCC AR5: GFDL – CM3 e HadGEM – ES/INPE**. 2013. Disponível em : <[http://worldclim.org/cmip5\\_30s](http://worldclim.org/cmip5_30s)> Acesso em: 25 jul. 2014.

COLLICCHIO, E. **Zoneamento agroclimático e ambiental para a cultura da cana-de-açúcar e as implicações das mudanças climáticas no estado do Tocantins**. 2008. 156 f. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

COLLICCHIO, E. A estruturação da OEPA no Tocantins. In: \_\_\_\_. **Organização Estadual de Pesquisa Agropecuária: um instrumento de apoio ao desenvolvimento rural sustentável do Tocantins**. Palmas: Provisão, cap. III, p. 85-130. 2006.

COSTA, J. A. **Qualidade da madeira de *Eucalyptus urograndis*, plantado no Distrito Federal para, produção de celulose Kraft**. 2011. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

CROMER, R. N.; CAMERON, D. M.; RANCE, S. J.; RYAN, P. A.; BROWN, M. Response to nutrients in *Eucalyptus grandis*: 2. nitrogen accumulation. **Forest Ecology and Management**, v. 62, n. 1-4, p. 231-243, 1993.

DARROW, W. K. **The effect of drought on eucalypt species growing on shallow soil in South Africa: I - effects on mortality and growth**. Pietermaritzburg: Institute for Commercial Forestry Research, [1994]. 24 p. (ICFR Bulletin series, n. 94/7).

DEUS, E. **Reflorestamento deve aumentar em mais de 1000% no Tocantins**. 27/05/2011 - Disponível em: < [www.seagro.to.gov.br/noticia.php?id=1920](http://www.seagro.to.gov.br/noticia.php?id=1920) > Acesso em: 06 jul. 2014.

DIAZ, A. **Evaluación de Ensayo de Aclareo en Plantaciones de Pino caribe (*Pinus caribaea var. hondurensis*) de 5 años de edad en las Sabanas al Sur del estado Monagas**. Monagas, 2011, p.62

DOHLER, R. E., KLIPPEL, A. H., XAVIER, A. C., PIMENTA, L. R., CASTRO, F. S., Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático global para *Eucalyptus grandis* e *Pinus taeda*. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v.8, n.15; p. 1000, 2012.

EMBRAPA. **Dendrometria e avaliação da performance de clones de eucalipto (*Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*) plantados na região central do Estado de Rondônia**. Porto Velho: Embrapa, 2007, p. 17.

FILHO, E. P., SANTOS, P. E. T. dos. **Escolha de cultivares de eucaliptos em função do ambiente e do uso**. Embrapa: Colombo, 2013. 11 p. (Comunicado Técnico 316).

EVANGELISTA, A. W. P., CARVALHO, L. G., SEDIYAMA, G. C. Zoneamento climático associado ao potencial produtivo da cultura do café no Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.3, p.445-452, 2002.

FERNANDES, D. J., OSHIRO, R. O. M., OSHIRO, M. **Perspectivas para o setor florestal do Mato Grosso do Sul**, 2008. p. 311.

FILHO, E. P.; PACHECO, A.R.; DITTMAR, H; CORDEIRO, C. A. **Estratégia para o melhoramento de eucaliptos tropicais na Embrapa**. Colombo: Embrapa Florestas, 2004. 29 p.

FOELKEL, C.; **O mundo dos eucaliptos** - Estado do Tocantins - Brasil. 2011 Disponível em: <<http://www.portaldoagronegocio.com.br/conteudo.php?id=49727>> Acesso em: 12 jul. 2014.

FORMIGA, T. N. **PROAGRO – Programa de Garantia de Atividade Agropecuária: avaliação de seus objetivos na microrregião homogênea de Passo Fundo-RS**. Rio de Janeiro, 1983. 215 f. Dissertação ( Mestrado em Administração Pública), Fundação Getúlio Vargas. 1983.

GRUBER, Y. B. G. **Otimização da lâmina de irrigação na produção de mudas clonais de eucalipto (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* var. *plathyphylla*)**. 2006. 141 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

GUIMARÃES, D. P. et al. Uso do modelo de crescimento 3-PG para o zoneamento do potencial produtivo do eucalipto n estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Piracicaba, v.15, n.2, p.192-197. 2007.

IBGE. **Censo demográfico: 2012**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 14 jan. 2014.

**IPCC: 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/ New York: Cambridge University Press, 2013, 1535 p.

IPCC. **IPCC WG1 Fourth assessment Report**. Paris, 2007. 21p.

JOVANOVIC, T.; BOOTH, T. H. **Improved species climatic profiles**. [Canberra]: Rural Industries Research and Development Corporation, 2002. 68 p. (RIRDC Publication, n. 02/095). RIRDC Project n. CSF-56A.

KOUMROUYAN, A., BEZERRA, D. S., DOMINGUES, I. L. P., CASAGRANDE, L., VIEIRA, R. M. S. P., **Projeções climáticas para o século XXI: IPCC AR4, IPCC AR5.** São José dos Campos: Centro de Ciências do Sistema Terrestre 2010, 37 p.

MACIEL, G. F. **Impactos econômico-financeiros das variações climáticas sobre os cultivos de arroz e soja no estado do Tocantins.** 2010. 119 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2010.

MAPA. **Proagro - Programa de Garantia da Atividade Agropecuária.** 2014. Disponível em: < <http://www.agricultura.gov.br/>>. Acesso em: 10 jul. 2014.

MARIN, F.R.; ASSAD, E.A.; BARBARISI, B.F.; PILAU, F.G.; PACHECO, L.R.F.; ZULLO JUNIOR, J.; PINTO, H. S. Efeitos das mudanças climáticas sobre a aptidão climática para a cana-de-açúcar no estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15, 2007. Aracaju. **Anais...** Aracaju: SBA, 2007.

MEDEIROS, S. R. R., MOURA, G. B. A., GIONGO, P. R., SILVA, A. P. N. Potencial agroclimático para a *Alpinia purpurata*, no Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.2, p.165–169, 2009.

MEDEIROS; R. M., AZEVEDO, P. V., SABOYA, L. M. F., FRANCISCO, P. R. M. Classificação climática e zoneamento agroclimático para o município de Amarante – PI. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada** v.7, n. 2, p. 170 - 180, 2013.

MINGUEZ, M. I.; RUIZ-RAMOS, M.; DÍAZ-AMBRONA, C. H.; QUEMADA, M. Productivity in agricultural systems under climate change scenarios. evaluation and adaptation. **Journal de Physique**, Paris, v.4, n. 121, p.269-281, 2004.

MOSS, R. H. *et al.* The next generation of scenarios for climate change University of research and assessment. **Nature**. v. 463, n. 11, p. 747-756, 2010.

NAVES BARBIERO, C.C. **Efeito das mudanças climáticas sobre o zoneamento agroclimáticos da *hevea brasilienses* no estado do Tocantins.** 2014. 108f. Tese (Doutorado em Biologia e Ecologia das Alterações Globais) – Universidade de Aveiro, Aveiro. 2014

NEVES, J. C. L. **Produção e partição de biomassa, aspectos nutricionais e hídricos em plantios clonais de eucalipto na região litorânea do Espírito Santo.** 2000. 191p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2000.

NUNES, E. L.; AMORIM, R. C. F.; SOUZA, W. G.; RIBEIRO, A.; SENNA, M. C. A.; LEAL, B. G. Zoneamento agroclimático da cultura do café para a Bacia do Rio Doce. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.22, p.297-302, 2007.

OLIVEIRA, B. G. **Zoneamento agroclimático para a cultura do dendê (*elaeis guineenses jacq.*) e efeito das mudanças climáticas no estado do Tocantins**. Seminário de Iniciação Científica UFT. 2012. 5 p.

PAIVA, Y. G. *et al.*, Zoneamento agroecológico de pequena escala para *Toona ciliata*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* na Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim - ES, utilizando dados SRTM. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13, 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p. 1785-1792.

PELLEGRINI, L. O poder do eucalipto na geração de energia renovável. **Jornal da Bioenergia**, São Paulo, Março, p.27, 2012.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Ed. Agropecuária, 2002. 478 p.

PINTO, H. S.; ASSAD, E.A.; ZULLO JUNIOR, J.; BRUNINI, O.; EVANGELISTA, B.A. Impacto do aumento da temperatura no zoneamento climático do café nos estados de São Paulo e Goiás: avaliação dos cenários do IPCC. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA – CBAgro, 2001. Campinas. **Anais...** Campinas: SBA, 2001. Disponível em [http://www.cpa.unicamp.br/prod\\_cc/trabalhos-em-anais-de-eventos/cbagro2001](http://www.cpa.unicamp.br/prod_cc/trabalhos-em-anais-de-eventos/cbagro2001). Acesso em: 20 jun. 2013.

PORTELA, G. L. F., LIMA, M. G., PADUA, L. E. M., NETO, F. A. S, MARTINS, A. B. G. Zoneamento agroclimático da cultura da mangueira no estado do Piauí. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, n. 4, p. 1036-1039, 2008.

POYTON, R. J. **Tree planting in Southern Africa**: The Eucalyptus. Republic of South Africa: Department of Forestry, 1979. v. 2, 882 p. Report to the Southern African Regional Commission for the Conservation and Utilization of the Soil (SARCCUS).

POSSAS, J. M. C., CORREA, M. M., MOURA, G. B. A., LOPES, P. M. O., CALDAS, A. M., FONTES JÚNIOR, R. V. P. Zoneamento agroclimático para a cultura do pinhão-manso no Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.9, p.993–998, 2012.

QUIRINO, W. F. ; VALE, A. T. ; ANDRADE, A. P. A. ; ABREU, V. L. S. ; AZEVEDO, A. C. S. . Poder Calorífico da Madeira e de Resíduos Lignocelulósicos. **Revista. Biomassa & Energia** , Viçosa-MG, v. 01, n.02, p. 173-182, 2004.

RIBEIRO, C. A. D. . **Delimitação de zonas agroclimáticas para cultura do eucalipto no norte do Espírito Santo e sul da Bahia**. 2009. 102f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias, Alegre, 2009.

ROSSETTI, Luiz Antônio. Zoneamento agrícola em aplicações de crédito e secularidade rural no Brasil: aspectos atuariais e de política agrícola. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 3, p. 386-399, 2001.

ROCHA, M. G. **Fatores Limitantes à Expansão dos Sistemas Produtivos na Amazônia**. 2011. 133p. Dissertação (Mestrado em Agroeneriga), Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2011.

RUIZ, R. A. R.; ALFENAS, A. C.; FERREIRA, F. A.; VALLE, F. X. R. Influência de temperatura, do tempo de molhamento foliar, fotoperíodo e da intensidade de luz sobre a infecção de *Puccinia psidii* em eucalipto. **Fitopatologia Brasileira**, v. 14, p. 55-61, 1989.

SALATI, E.; CAMPANHOL, T.; VILLA NOVA, N. **Tendências das variações climáticas para o Brasil no século XX e balanços hídricos para cenários climáticos para o século XXI**: relatório 4. Rio de Janeiro: MMA, 2007. 182 p.

SCHNEIDER, L. M., ROLIM, G. S., SOBIERAJSKI, G. R., PRELA-PANTANO, A., PERDONÁ, M. J. Zoneamento agroclimático de noqueira-macadâmia para o Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, n. 2, p. 515-524, 2012.

SEAGRO. Secretaria da Agricultura, da Pecuária e do Desenvolvimento Agrário. **Agricultura**. Disponível em: < <http://seagro.to.gov.br/noticia.php?id=3126>>. Acesso em: 22 jan. 2014.

SEDIYAMA, G. C., MELO JUNIOR, J. C. F., SANTOS, A. R., RIBEIRO, A., COSTA, M. H., HAMAKAWA, P. J., COSTA, J. M. N., COSTA, L. C. Zoneamento agroclimático do cafeeiro (*Coffea arabica*L.) para o estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.9, n.3, p.501-509, 2001.

SEPLAN. Secretaria de Planejamento e da Modernização da Gestão Pública. **Atlas do Tocantins**: subsídios ao planejamento da gestão territorial. Palmas: SEPLAN, 2012. 79 p.

SOUSA, V. A.; HIGA, R.C.V. Fenologia de florescimento e frutificação de *Eucalyptus dunnii*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 22/23, p.9-19, jan./dez. 1991.

SOUZA, M. J. H., GUIMARÃES, M. C. A., GUIMARÃES, C. D. L., FREITAS, W. S., OLIVEIRA, A. M. S. Potencial agroclimático para a cultura da acerola no Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.2, p.390–396, 2006 a.

SOUZA, M. J. H., RIBEIRO, A., LEITE, H. G., LEITE, F. P., MINUZZI, R. B. Disponibilidade hídrica do solo e produtividade do eucalipto em três regiões da bacia do Rio Doce. **Revista Árvore**, Viçosa, v.30, n.3, p.399-410, 2006b.

SOUZA, M. J. H., RIBEIRO, A., LEITE, H. G., LEITE, F. P., MINUZZI, R. B. Relação entre disponibilidade hídrica e produtividade do eucalipto em diferentes idades, em Guanhães, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.3, p.629–638, 2006c.

SOUZA, O. M. M. **Zoneamento edafoclimático para cultura do eucalipto** (*Eucalyptus* spp. e *Corymbia* sp.) **no estado do Tocantins**. 2014.50 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Tocantins, Palmas, TO, 2014.

SPERANDIO, H. V.; CAMPANHARO, W. A.; CECILIO, R. A.; NAPPO, M. E. Zoneamento Agroecológico para espécies de eucalipto no Estado do Espírito Santo. **Revista Caminhos da Geografia**, Uberlândia. v. 11, n. 34, p. 203 - 216. jun. 2010.

TEDINE, V. Eucalipto: o reflorestamento do capital financeiro. **Jornal A Nova Democracia**, Rio de Janeiro, n.12, 2012.

THORTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. New Jersey: Drexel Institute of Thechnology, 1955. 104 p.

TURNBULL, J. W.; PRYOR, L. D. Choice of species and seed sources. In: HILLIS, W. E.; BROWN, A. G. (Ed.). **Eucalypts for wood production**. 2nd ed. Melbourne: CSIRO; Sidney: Academic Press, 1983. p. 6-65.

WALDHEIM, P. V.; CARVALHO, V. S. B.; CORREA, E.; FRANÇA, J. R. da A. Zoneamento climático da cana-de-açúcar, da laranja e do algodão herbáceo para a região Nordeste do Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro, v.29, n. 2, p.28-42, 2006.

WOLLMANN, C. A.; Galvani, E. Zoneamento agroclimático: linhas de pesquisa e caracterização teórica-conceitual. **Soc. & Nat.**, Uberlândia, p. 179-190, jan/abr/2013.

ZANETTI, E. G.B., PARENTE, D. D., LÁZARI, T. M., MURAISHI, C. T. Aspectos gerais sobre a produção de Eucalipto no Estado do Tocantins. Jornada de Iniciação Científica e Jornada de Extensão da Faculdade Católica do Tocantins – FACTO, II, 2012, Palmas, Tocantins, **Anais**, 2012.

**ANEXOS**

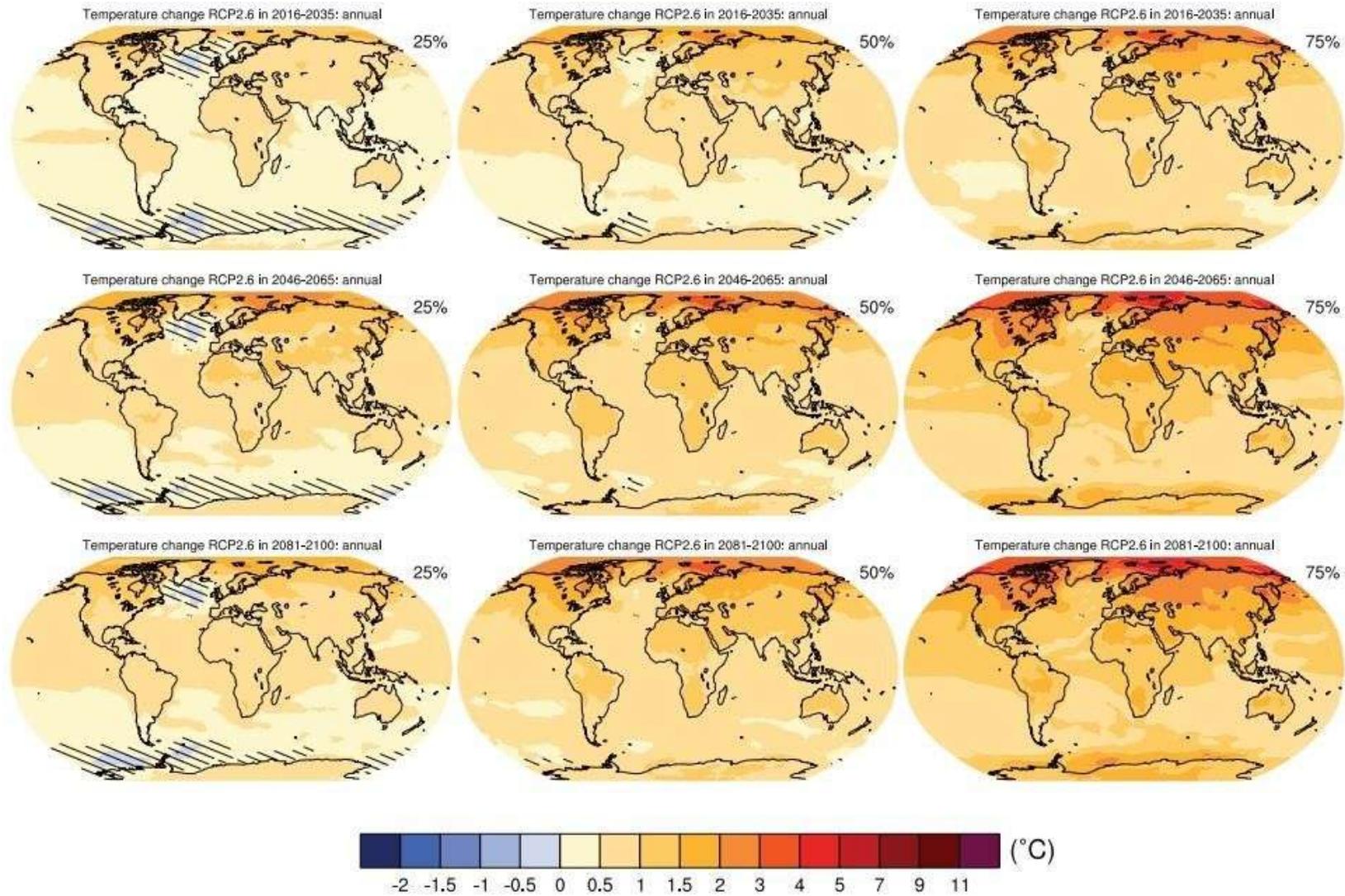


Figura 23 – Cenário RPC 2.6 para alteração da Temperatura para três períodos e coeficientes distintos presentes no atlas do AR5 do IPCC 2013

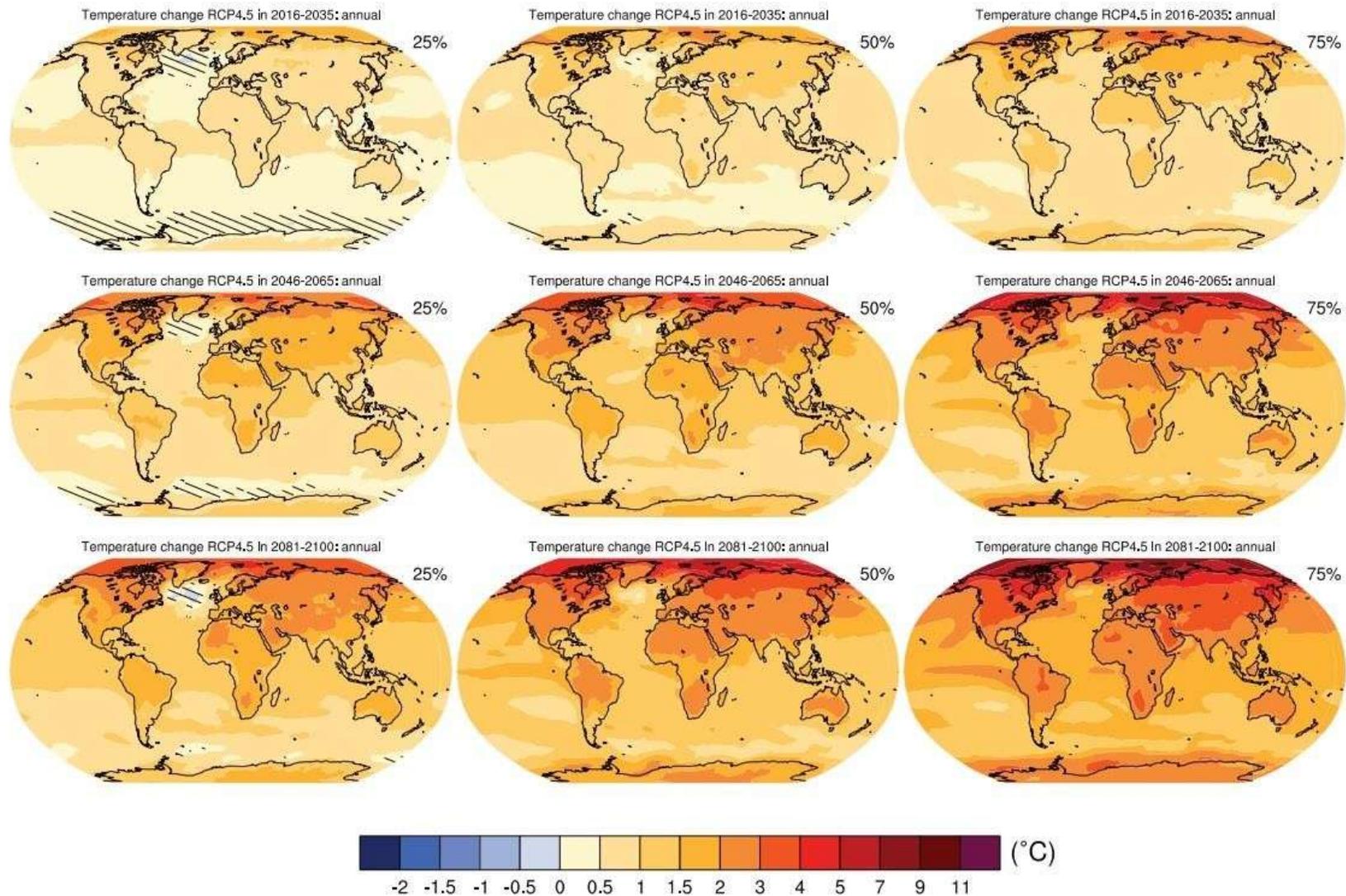


Figura 24 - Cenário RPC 4.5 para alteração da Temperatura para três períodos e coeficientes distintos presentes no atlas do AR5 do IPCC 2013

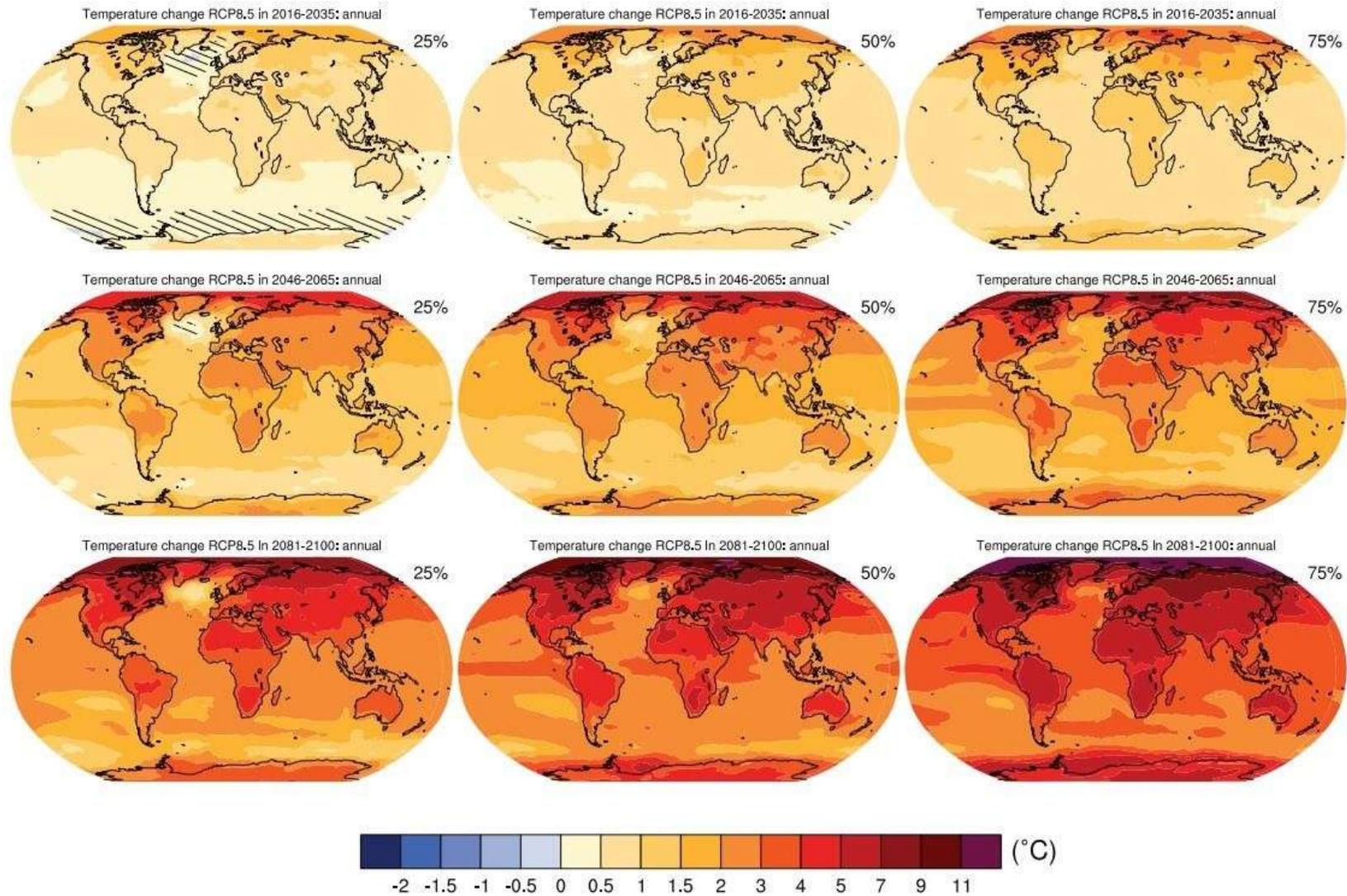


Figura 25 - Cenário RPC 8.5 para alteração da Temperatura para três períodos e coeficientes distintos presentes no atlas do AR5 do IPCC 2013

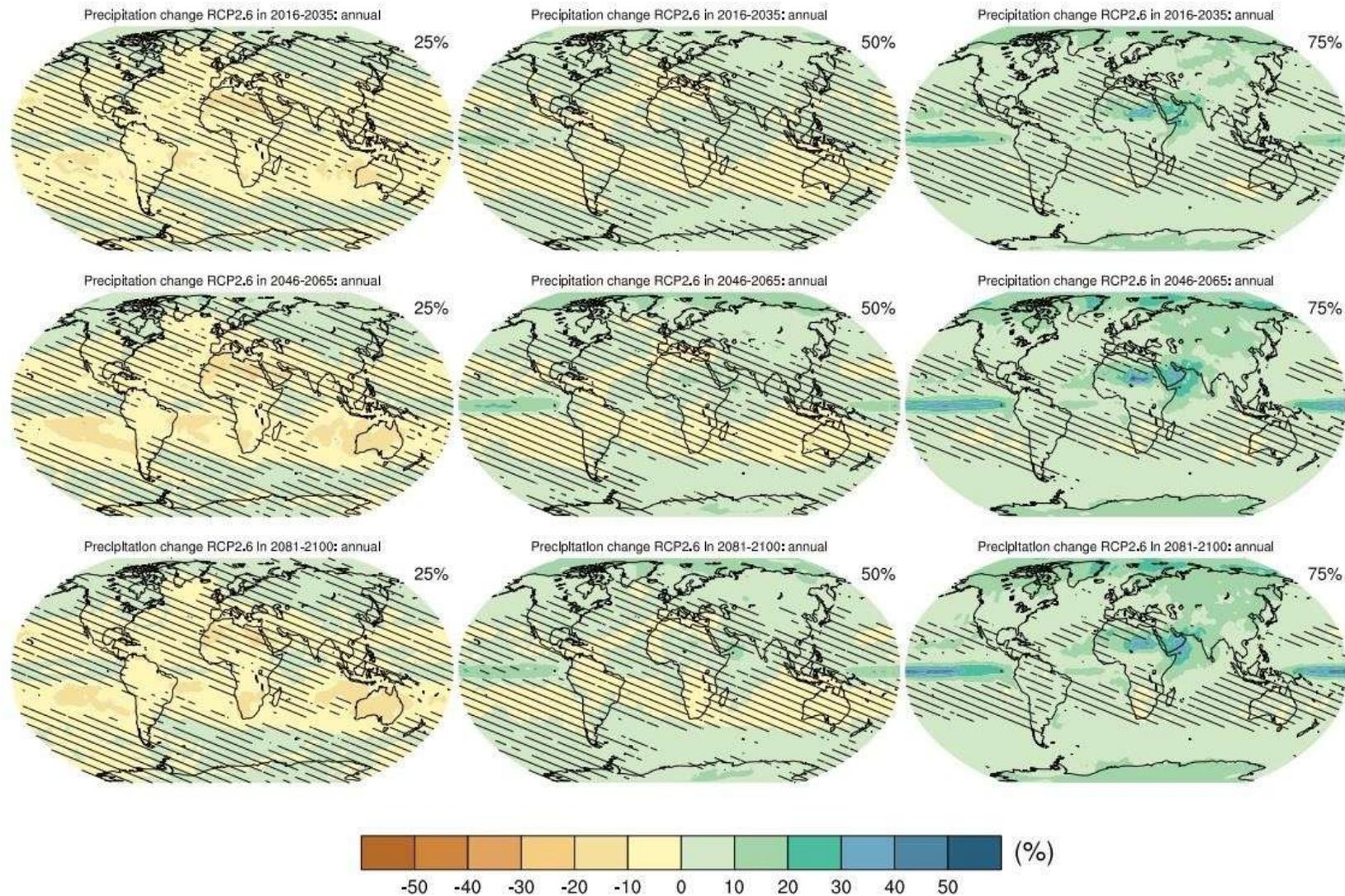


Figura 26 - Cenário RPC 2.6 para alteração da Precipitação para três períodos e coeficientes distintos presentes no atlas do AR5 do IPCC 2013

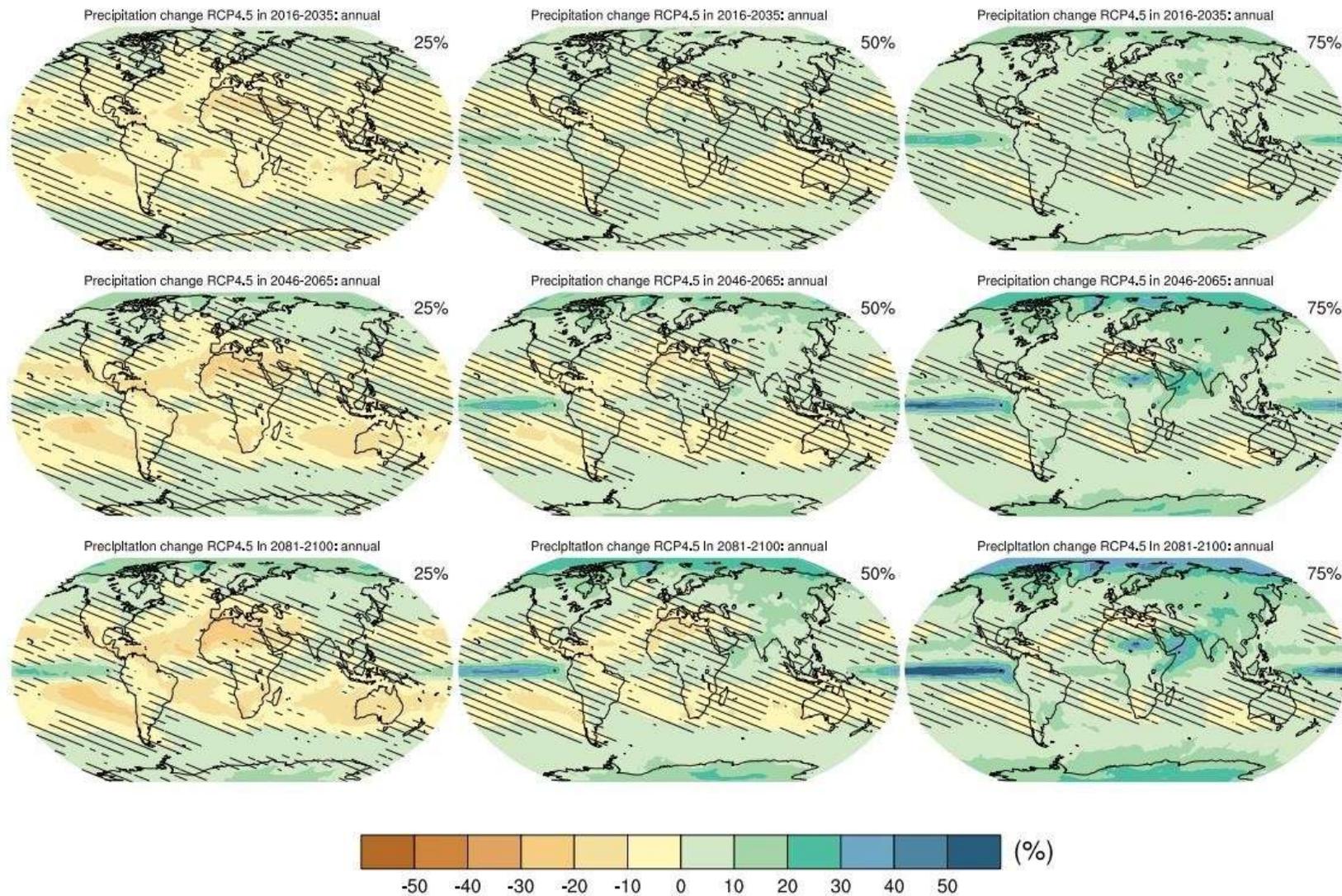


Figura 27 - Cenário RPC 4.5 para alteração da Precipitação para três períodos e coeficientes distintos presentes no atlas do AR5 do IPCC 2013

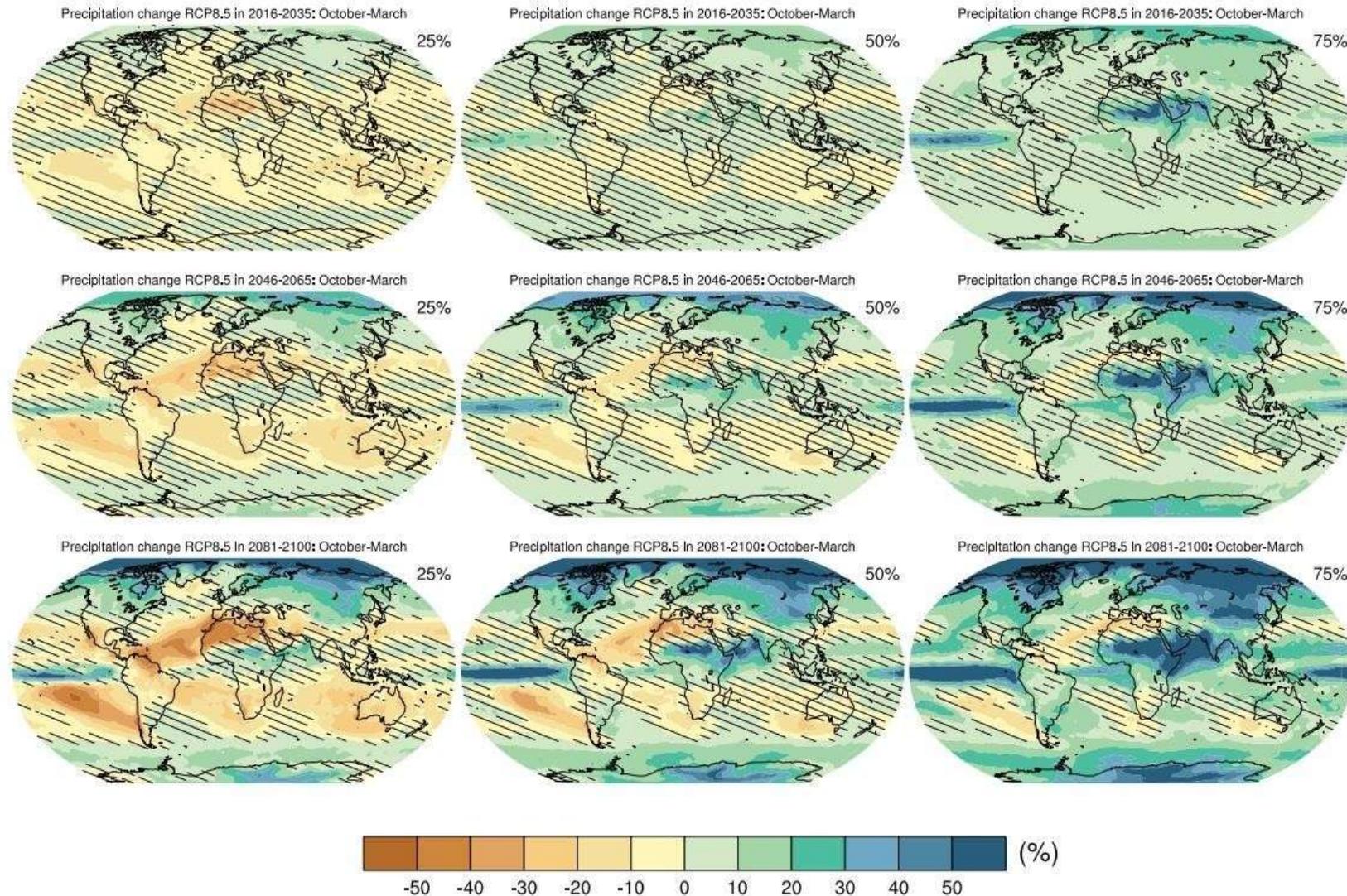


Figura 28 - Cenário RPC 8.5 para alteração da Precipitação para três períodos e coeficientes distintos presentes no atlas do AR5 do IPCC 2013