



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
INSTITUTO DE RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

**PADRÕES CLIMÁTICOS REGIONAIS PARA
1,5°C E 2,0°C DE AQUECIMENTO GLOBAL**

MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO

Brenda Almeida Santos

Itajubá, MG, Brasil

2018

PADRÕES CLIMÁTICOS REGIONAIS PARA 1,5°C E 2,0°C DE AQUECIMENTO GLOBAL

por

Brenda Almeida Santos

Monografia apresentada à comissão examinadora Programa de
Graduação em Ciências Atmosféricas da Universidade Federal
Itajubá (UNIFEI, MG), como requisito parcial para obtenção do grau
de
Bacharel em Ciências Atmosféricas.

Orientador: Dr. Roger Rodrigues Torres

Coorientadora: Dr^a. Fabrina Bolzan Martins

**Itajubá, MG, Brasil
2018**

**Universidade Federal de Itajubá
Instituto de Recursos Naturais
Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Monografia

**PADRÕES CLIMÁTICOS REGIONAIS PARA 1,5°C E 2,0°C DE
AQUECIMENTO GLOBAL**

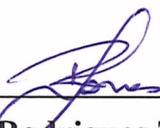
elaborada por

Brenda Almeida Santos

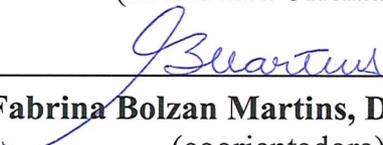
Como requisito parcial para a obtenção do grau de

Bacharel em Ciências Atmosféricas

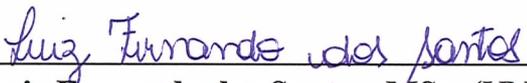
Comissão Examinadora:



Roger Rodrigues Torres, Dr. (UNIFEI)
(Presidente/Orientador)



Fabrina Bolzan Martins, Dr^a. (UNIFEI)
(coorientadora)



Luiz Fernando dos Santos, MSc. (UNIFEI)

Itajubá, 09 de novembro de 2018.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por ter me dado essa oportunidade, por ter me dado saúde, esperança, fé, sabedoria e bons amigos durante essa caminhada.

Aos meus pais Denizar e Sildmeire e ao meu irmão Kevin pelos conselhos, compreensão, ajuda e incentivo desde criança e por não terem me deixado desistir de nada. Pelo carinho, amor e alegrias que me transmitiram.

A todas as escolas que passei desde o primário, em especial a Escola Estadual Barão do Rio Branco, onde passei a maior parte de minha vida escolar, onde fiz várias amizades e não só me preparei para entrar em um curso superior, como também me preparei para ser um bom cidadão. A todos os professores meus sinceros agradecimentos.

Ao Cursinho Assistencial Amigos de Itajubá por ter me dado a oportunidade de me preparar melhor para o vestibular e a todos os professores que ali estavam de coração, de boa vontade em ensinar.

As amizades feitas durante a graduação, principalmente com o pessoal da turma de Ciências Atmosféricas de 2015 que sempre apoiaram/ajudaram um ao outro mantendo uma turma unida. Em especial as mulheres dessa turma (Melissa Dias, Camila Sapucci, Aline Freitas, Aline Luara, Paola Nascimento, Karina Reciate, Larissa Vieira e Maria Alice Machado) por serem companheiras e amigas, pelos choros e gargalhadas juntas. Também aos colegas e veteranos Rayan Miranda, Bruna Andreлина, Lara Marques, Vitor Hugo Marrafon pelos conselhos, ajudas e companheirismo durante esse tempo.

Ao meu atual companheiro Gabriel Marcatto por todo apoio dado durante essa etapa, pelos conselhos, por ouvir minhas reclamações e não achar ruim, por me fazer sorrir e por ser um grande amigo.

A ONG Amigos de Itajubá por ter me dado a oportunidade de participar desse projeto tão especial, que me fez crescer como pessoa e querer, a cada dia mais ajudar e ter empatia pelo próximo, principalmente por aqueles mais necessitados e invisíveis a sociedade.

A Cia de Dança Corpo a Corpo por me dar a chance de expressar meus sentimentos através da dança além de ser um horário de descontração na universidade, principalmente nos dias mais difíceis.

Ao meu orientador e professor Roger Rodrigues Torres por ter aceitado me orientar desde começo do curso sem ao menos me conhecer, pelos conhecimentos transmitidos,

suporte, paciência, e correções ao longo das iniciações científicas e principalmente deste trabalho final de graduação.

A todos os professores que ministraram aulas para mim durante a graduação. Com certeza vocês tiveram muito a acrescentar não só de conhecimentos específicos, profissionais, mas como da vida.

A Izabelly Carvalho da Costa e ao Renato Galante Negri por me darem a oportunidade de estagiar em uma área diferente para mim, pela receptividade, pelo apoio, ajuda, conselhos e conhecimentos transmitidos.

Ao Marcos Daisuke Oyama por me convidar e orientar em uma iniciação científica no final da graduação. Obrigada pela oportunidade e ensinamentos passados ao longo deste tempo.

Meus sinceros agradecimentos a todos que aqui não foram citados, mas que de alguma forma contribuíram e estiveram presentes nos momentos mais importantes e decisivos de minha vida.

Aos meus pais.

“Ser um campeão não é superar o outro, mas conseguir realizar
os seus talentos no nível mais alto de sua existência”
Roberto Shinyashiki

RESUMO

Monografia de Graduação
Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Itajubá, MG, Brasil

PADRÕES CLIMÁTICOS REGIONAIS PARA 1,5°C E 2,0°C DE AQUECIMENTO GLOBAL

AUTORA: BRENDA ALMEIDA SANTOS
ORIENTADOR: Dr. ROGER RODRIGUES TORRES
COORIENTADORA: Dr^a. FABRINA BOLZAN MARTINS
Local e Data da Defesa: Itajubá, 09 de novembro de 2018.

Na 21^a Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas, que ocorreu em Paris em 2015, foi elaborado um novo acordo entre os países com intuito de diminuir o aquecimento global e em consequência limitar o aumento da temperatura em 1,5°C a 2,0°C, limite em que os danos aos ecossistemas e os prejuízos socioambientais não sejam extremos, até 2100. Neste sentido, este estudo teve como objetivo analisar as projeções de mudanças de temperatura e precipitação no globo, com principal enfoque na América do Sul, para o aquecimento global supracitado e identificar o ano limítrofe para este aumento. Portanto, 33 modelos climáticos globais do *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5* foram analisados utilizando o *Historical* (para representar o clima observado), e as projeções RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 e RCP8.5 (para representar o clima futuro em diferentes cenários radiativos forçantes). As análises mostram que, segundo os modelos climáticos analisados, os valores da anomalia de temperatura e precipitação e os anos limítrofes para alcançarmos os aumentos de temperatura supracitados variam de acordo com o modelo e o cenário forçante avaliado. O aumento de temperatura será maior que 1°C em todo o globo para um aquecimento global de 1,5°C e 2,0°C, tendo as maiores magnitudes no Polo Norte. De modo geral, segundo as projeções dos modelos utilizados, o aumento de temperatura de 1,5°C será atingido em 2031 e o aumento de 2,0°C em 2037 globalmente. As regiões do Hemisfério Norte entre 30°N e 90°N e o Polo Sul atingirão os 2°C mais cedo e o sul dos continentes do Hemisfério Sul e os oceanos de todo o globo, mais tardio. Para precipitação, de forma geral, é projetada uma anomalia positiva nos polos e na região da ZCIT. As regiões de maiores aquecimentos são também as de anomalia negativa de precipitação.

Palavras-chave: Mudanças Climáticas. Acordo de Paris. CMIP5. América do Sul.

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1 - Série temporal de desvios de temperatura do ar próximo a superfície para o período de 1850 a 2100 no cenário forçante RCP8.5. A curva em vermelho representa a série original de anomalias e a azul representa a série suavizada com a aplicação da média móvel.....8
- FIGURA 2 - Padrão espacial médio do desvio de temperatura projetado pelos 33 ESMs nos quatro cenários RCPs (RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 e RCP8.5) para um aquecimento global A) de 1,5°C e B) 2,0°C relativo ao período pré-industrial. As regiões pontilhadas indicam as áreas com temperaturas superiores a 1,5°C (Figura 2A) e 2,0°C (Figura 2B). O número de projeções usadas para calcular a média é indicado no canto superior direito de cada painel.....9
- FIGURA 3 - Desvio da temperatura média global (°C) relativa ao período pré-industrial projetada pelos 33 modelos para cada cenário para o período 2005–2100. A esquerda para um aquecimento global de 1,5°C e a direita para um aquecimento de 2,0°C. O número de modelos usados para calcular a média é indicado no canto superior direito de cada painel.....12
- FIGURA 4 - Ano referente ao aumento de temperatura de 2,0°C relativo ao período pré-industrial projetada pelos 33 modelos sendo uma média de todos os cenários (RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 e RCP8.5). O número de projeções usadas para calcular a média é indicado no canto superior direito de cada painel.....16
- FIGURA 5 - Ano referente ao aumento de temperatura de 2,0°C relativo ao período pré-industrial projetada pelos 33 modelos para cada cenário avaliado. O número de modelos usados para calcular a média é indicado no canto superior direito de cada painel.....17
- FIGURA 6 - Padrão espacial do desvio da precipitação média global (mm ano⁻¹), projetada pelos 33ESMs nos quatro cenários (RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 e RCP8.5) para um aquecimento global A) de 1,5°C e B) 2,0°C relativo ao período pré-industrial. O número de projeções usadas para calcular a média é indicado no canto superior direito de cada painel.....19
- FIGURA 7 - Desvio da precipitação média global (mm ano⁻¹) relativa ao período pré-industrial projetada pelos 33 ESMs para cada cenário para o período 2005–2100. À esquerda para um aquecimento global de 1,5°C e a direita para um aquecimento de 2,0°C. O número de modelos usados para calcular a média é indicado no canto superior direito de cada painel..... 21

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Lista de modelos do conjunto CMIP5 utilizados neste estudo, com a descrição das resoluções horizontais aproximadas, e sua respectiva simulação e projeções.....	6
TABELA 2 - Ano referente ao aquecimento de 1,5°C na média global de temperatura.....	13
TABELA 3 - Ano referente ao aquecimento de 2,0°C na média global de temperatura.....	14

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

AS – América do Sul

CMIP5 – *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5*

CO₂ – Dióxido de Carbono

COP – Conferência das Partes

COP21 - 21ª Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas

ESFG - *Earth System Grid Federation*

ESMs - *Earth System Models*

GEEs – Gases do Efeito Estufa

IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*

PCMDI - *Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison*

ppm – Partes por milhão

RCPs - *Representative Concentration Pathways*

TFG – Trabalho Final de Graduação

UNFCCC - *United Nations Framework Convention on Climate Change*

WCRP's - *World Climate Research Programme's*

ZCIT - Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS.....	ix
1 INTRODUÇÃO	2
2 OBJETIVOS	4
2.1 OBJETIVO GERAL	4
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
3 DADOS E MÉTODOS	5
3.1 DADOS	5
3.2 CÁLCULO DO LIMAR DE 1,5°C E 2,0°C DE AQUECIMENTO GLOBAL: PADRÃO RESPECTIVO DA TEMPERATURA E PRECIPITAÇÃO	7
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	8
4 CONCLUSÃO.....	21
5 REFERÊNCIAS	23

1 INTRODUÇÃO

As evidências da influência humana sobre o sistema climático tem aumentado desde o Quarto Relatório de Avaliação do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) - IPCC AR4 publicado em 2007. Segundo o 5º Relatório do IPCC (IPCC AR5) publicado entre 2013/2014, o aquecimento do sistema climático é evidente muitas das mudanças observadas são sem precedentes ao longo de décadas a milênios (IPCC, 2014). No IPCC AR5 relata-se observações de um aumento na temperatura da ordem de 0,9°C desde 1850 e atribui-se o aquecimento global observado nos últimos 50 anos, com 95% de confiança, às atividades humanas (MARENGO, 2014).

A atmosfera e o oceano têm aquecido e as concentrações de gases do efeito estufa (GEEs), principalmente de dióxido de carbono CO₂, aumentaram enormemente desde a era pré-industrial, impulsionadas em grande parte pelo crescimento econômico e populacional (IPCC, 2014). Cada uma das três últimas décadas tem sido sucessivamente mais quentes na superfície da Terra do que qualquer outra década anterior a 1850 (IPCC, 2014) e, segundo o IPCC AR5, o ano de 2014 superou o de 2010 e é o mais quente já registrado desde 1880 (MARENGO, 2014).

Na América do Sul, segundo o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas, foi observado um aquecimento de 0,7°C até 1°C desde meados de 1970 (MARENGO, 2014). Um exemplo, de um país na América do Sul, que poderá ser imensamente afetado num cenário de aquecimento global é o Brasil, uma vez que já é vulnerável aos extremos climáticos atuais (TORRES et al., 2012). Segundo Torres e Marengo (2014), o sul da Amazônia e a região centro-oeste e oeste do estado de Minas Gerais no Brasil são *hotspots* persistentes de mudanças climáticas ao longo dos diferentes cenários de forçantes climáticas apresentados pelo IPCC. No Brasil, nos últimos 30 anos tem aumentado a frequência de chuvas fortes nas regiões Sul e Sudeste no verão e no inverno, na Amazônia ocorreram secas (2005 e 2010) e enchentes (2009, 2012 e 2014) históricas, a região Nordeste experimentou a seca mais prolongadas já registrada (2012-17) e na região Sudeste houve em 2014-15 a pior seca dos últimos 80 anos, impactando a segurança hídrica e energética dos estados do Rio de Janeiro e São Paulo (INMET, 2018; MARENGO, 2014).

As alterações climáticas amplificarão os riscos existentes e criarão novos riscos para os sistemas naturais e humanos. Os riscos são distribuídos de forma desigual e são geralmente maiores para pessoas desfavorecidas e comunidades de países em todos os níveis de desenvolvimento (ADGER et al., 2014). Neste sentido, a 21ª Conferência das Nações Unidas

sobre as Mudanças Climáticas (COP21) realizada em Paris, entre os dias 30 de novembro a 12 de dezembro de 2015, teve como principal objetivo a redução do aquecimento global, restringir o aumento da temperatura bem abaixo de 2°C acima dos níveis pré-industriais, até o ano de 2100, sendo que o valor limítrofe de 1,5°C é tido como mais desejável. Esse acordo foi firmado entre 196 partes, compreendendo 195 países e a União Européia (JAYARAMAN e KANITKAR, 2016; FALKNER, 2016).

A Conferência das Partes (COP), constituída pelos países que ratificaram o tratado (Estados Partes), é o órgão decisório da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (do inglês, UNFCCC). Os estados membros reúnem-se anualmente em uma sessão global onde as decisões são tomadas para cumprir as metas de combate às mudanças climáticas (COSTA, 2004) e, segundo James et al. (2017), a identificação das mudanças climáticas antecipadas em uma região é um passo fundamental da maioria das análises de impactos.

O nível de estabilização dos GEEs, que preveniria uma interferência antropogênica perigosa no sistema climático foi determinado somente em 2009 durante a COP 15, em Copenhague, quando o Acordo de Copenhague reconheceu a visão científica de que o aumento na temperatura global deveria ser abaixo de 2°C (AKANLE et al., 2009). Entretanto, a temperatura de 1,5°C acima dos níveis pré-industriais não apenas criará novos riscos como também amplificará aqueles já existentes em escala global e regional (IPCC, 2014). Se ultrapassarmos esse limite, os possíveis impactos serão, por exemplo, aumento de surtos de doenças, a degradação dos ecossistemas, o aumento de eventos climáticos extremos como secas, inundações, aumento do nível do mar, insegurança alimentar, esgotamento de recursos, aumento indireto de conflitos violentos e migração forçada em muitas partes do mundo que deverão retardar o crescimento econômico e tornar a redução da pobreza mais difícil (IPCC, 2014; CAMPBELL et al., 2016; MYSIAK et al. 2016).

Limitar o aquecimento a qualquer nível requer que as emissões líquidas de CO₂ fiquem nulas em algum momento e, dado o pequeno orçamento de carbono restante, estima-se que este momento seja antes do final deste século para um limite de 2°C (ROGELJ, 2016).

Existem várias vias de atenuação susceptíveis de limitar o aquecimento a valores inferiores a 2°C relativamente aos níveis pré-industriais. Essas vias exigiriam reduções substanciais de emissões nas próximas décadas e emissões próximas de zero de CO₂ e outros GEEs de longa duração até o final do século. A implementação dessas reduções representam desafios tecnológicos, econômicos, sociais e institucionais substanciais, os quais aumentam na medida em que há um atraso na mitigação e se as tecnologias-chave não estão disponíveis.

Limitar o aquecimento a níveis mais baixos ou mais altos envolve desafios semelhantes, mas em prazos diferentes (IPCC, 2014).

Vários estudos têm analisado projeções de mudanças climáticas na América do Sul utilizando modelos climáticos globais (por exemplo, Santos (2015), Torres (2014), Salazar (2009), Sales (2015)) e regionais (por exemplo, De Souza et al. (2016), Cera e Ferraz (2015), Reboita et al. (2017), Llopart et al. (2014)), possibilitando identificar os limiares projetados para o clima desta região até o final do século XXI. A identificação das mudanças climáticas antecipadas em uma região é um passo fundamental da maioria das análises de impactos em todos os setores do sistema climático. Essas análises são realizadas por pesquisadores interdisciplinares e, para isso, são de vital importância saber quais variáveis irão alterar, o quanto e quando isso ocorrerá (JAMES et al. 2017).

Dada essa problemática e toda importância acerca deste tema, ainda permanece uma incógnita, pois não sabemos como serão os padrões climáticos na América do Sul, assim como outros lugares no mundo, se barrarmos o aquecimento de 2°C. Quando iremos atingi-lo? Estaremos acima ou abaixo da média global? Nesse contexto, esforços devem ser realizados para projetar as mudanças da temperatura e da precipitação no sentido de determinar áreas acima e abaixo deste limiar para verificar as possíveis implicações e alterações nessas áreas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho final de graduação foi analisar as projeções de mudanças de temperatura e precipitação no globo, com principal enfoque na América do Sul, para um aquecimento global de 1,5°C e 2,0°C utilizando inúmeros modelos climáticos que são estado da arte no conhecimento sobre o sistema climático, e serviram como subsídios para a elaboração do IPCC AR5.

2.2 Objetivos específicos

- Identificar nos dados climáticos o ano limítrofe para um aquecimento global de 1,5°C e 2,0°C;
- Projetar e avaliar os padrões espaciais de mudança de temperatura do ar próximo a superfície para um aquecimento global de 1,5°C e 2,0°C;

- Projetar e avaliar os padrões espaciais de mudança de precipitação para um aquecimento global de 1,5°C e 2,0°C;

3 DADOS E MÉTODOS

3.1 Dados

Os dados utilizados correspondem às inúmeras simulações e projeções climáticas de 33 Modelos do Sistema Terrestre (do acrônimo em inglês, ESMs) (Tabela 1) obtidos na plataforma do *Earth System Grid Federation* (ESGF) pertencentes ao projeto *Coupled Model Intercomparison Project phase 5* (CMIP5) (TAYLOR et al., 2012). Tais simulações e projeções são fornecidas pelo *World Climate Research Programme's* (WCRP's) e disponibilizadas através do sítio <https://esgf-data.dkrz.de/search/cmip5-dkrz/>.

Na tentativa de compreender melhor os efeitos das mudanças climáticas no sistema climático, nos ecossistemas e nas atividades humanas e avaliar as incertezas atribuídas à contribuição humana neste efeito, foram empregados quatro cenários futuros de forçantes radiativas (alteração do equilíbrio entre a entrada e saída de radiação na atmosfera causada pelas alterações nas componentes do sistema climático) que são usados nos ESMs (MOSS et al., 2010). Esses cenários servem como dados de entrada para os experimentos numéricos e se diferem a partir dos níveis das forçantes radiativas de estabilização em W m^{-2} (SILVEIRA et al., 2013), denominados *Representative Concentration Pathways* (RCPs), cujas características são:

- RCP2.6 que considera uma forçante radiativa em torno de $2,6 \text{ W m}^{-2}$ e uma concentração de CO_2 equivalente aproximada no final do século XXI de 490 ppm;
- RCP4.5 considera uma forçante radiativa de $4,5 \text{ W m}^{-2}$ e uma concentração de CO_2 equivalente em torno de 650 ppm;
- RCP6.0 considera uma forçante radiativa de 6 W m^{-2} e a concentração de CO_2 equivalente é de 850 ppm e o;
- RCP8.5 que apresenta uma forçante radiativa superior a $8,5 \text{ W m}^{-2}$ e a concentração de CO_2 equivalente de 1370 ppm (VAN VUUREN et al., 2011).

Tabela 1 - Lista de modelos do conjunto CMIP5 utilizados neste estudo, com a descrição das resoluções horizontais aproximadas, e sua respectiva simulação e projeções. Os modelos estão organizados de acordo com a sua resolução horizontal.

Modelo	Resolução (lat/lon)	Historical	RCP26	RCP45	RCP60	RCP85
CMCC-CESM	3,7°x 3,7°	*	-	-	-	*
FGOALS-g2	3,1°x 2,8°	*	*	*	-	*
BCC-CSM1.1	2,8°x 2,8°	*	*	*	*	*
BNU-ESM	2,8°x 2,8°	*	*	*	-	*
CanESM2	2,8°x 2,8°	*	*	*	-	*
FIO-ESM	2,8°x 2,8°	*	*	*	*	*
MIROC-ESM	2,8°x 2,8°	*	*	*	*	*
MIROC-ESM-CHEM	2,8°x 2,8°	*	*	*	*	*
GISS-E2-H	2,0°x 2,5°	*	*	*	*	*
GISS-E2-H-CC	2,0°x 2,5°	*	-	*	-	*
GISS-E2-R	2,0°x 2,5°	*	*	*	*	*
GISS-E2-R-CC	2,0°x 2,5°	*	-	*	-	*
IPSL-CM5A-LR	1,9°x 3,8°	*	*	*	*	*
IPSL-CM5B-LR	1,9°x 3,8°	*	-	*	-	*
NorESM1-M	1,9°x 2,5°	*	*	*	*	*
NorESM1-ME	1,9°x 2,5°	*	*	*	*	*
CMCC-CMS	1,9°x 1,9°	*	-	*	-	*
CSIRO-Mk3.6.0	1,9°x 1,9°	*	*	*	*	*
MPI-ESM-LR	1,9°x 1,9°	*	*	*	-	*
MPI-ESM-MR	1,9°x 1,9°	*	*	*	-	*
INM-CM4	1,5°x 2,0°	*	-	*	-	*
CNRM-CM5	1,4°x 1,4°	*	*	*	-	*
MIROC5	1,4°x 1,4°	*	*	*	*	*
ACCESS1.0	1,3°x 1,9°	*	-	*	-	*
ACCESS1.3	1,3°x 1,9°	*	-	*	-	*
IPSL-CM5A-MR	1,3°x 2,5°	*	*	*	*	*
BCC-CSM1.1(m)	1,1°x 1,1°	*	*	*	*	*
EC-EARTH	1,1°x 1,1°	*	-	*	-	*
MRI-CGCM3	1,1°x 1,1°	*	*	*	*	*
CCSM4	0,9°x 1,3°	*	*	*	*	*
CESM1(BGC)	0,9°x 1,3°	*	-	*	-	*
CESM1(CAM5)	0,9°x 1,3°	*	*	*	*	*
CMCC-CM	0,7°x 0,7°	*	-	*	-	*

O asterisco (traço) indica que o modelo possui (não possui) a respectiva projeção.

Foi selecionada a frequência temporal mensal, o domínio atmosfera e as simulações e projeções intituladas r1i1p1 (que significa que se trata da "rodada" 1, com inicialização 1 e física 1 do modelo posteriormente selecionado). A partir deste subconjunto foram selecionadas as variáveis de temperatura do ar próximo a superfície e precipitação simuladas para o período de 1850-2005 e projetadas para 2006-2100. Os experimentos selecionados

foram o *Historical* que se refere ao período de 1850 – 2005 e os RCPs 2.6, 4.5, 6.0 e 8.5 para o período de 2006 -2100.

As resoluções horizontais dos ESMs provenientes do CMIP5 variam em torno de 1 a 3 graus de latitude/longitude (Tabela 1). Com o propósito de intercomparação, todas as variáveis utilizadas foram interpoladas para uma grade regular comum de 1°x1° de latitude/longitude utilizando o esquema *conservative remapping* (JONES, 1999).

Maiores detalhes acerca dos modelos e simulações podem ser encontrados em Randall et al. (2007) e no sítio do *Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison - PCMDI* (http://www-pcmdi.llnl.gov/ipcc/about_ipcc.php).

3.2 Cálculo do limiar de 1,5°C e 2,0°C de aquecimento global: padrão respectivo da temperatura e precipitação

Para encontrar o limiar de 1,5°C e 2,0°C de aquecimento foram executadas oito etapas. Primeiramente realizou-se uma média anual com os dados mensais de temperatura do ar para cada simulação e projeção de todos os modelos. Realizou-se uma média climatológica das temperaturas do ar de 30 anos referente ao período de 1850 a 1879 do banco de dados do *Historical*, o qual é utilizado na literatura como sendo compatível à era pré-industrial. Em seguida foram geradas uma série do desvio em relação a média climatológica ao subtrair a média climatológica supracitada tanto os dados do período *Historical* (1850 a 2005) quanto das projeções (2006-2100).

Em seguida, as séries de desvio foram concatenadas (Historical+projeções) e aplicou-se um filtro média móvel centrado de 30 anos para remover as flutuações de temperatura em escalas inferiores a 30 anos (equação 1):

$$\overline{Xm}_i = \frac{1}{30} \sum_{k=i-15}^{i+15} \overline{X}_k \quad (1)$$

em que \overline{Xm}_i é a média móvel de \overline{X}_k que são os valores médios de X (da variável) em cada ponto de grade para o ano “i”. Tal agrupamento nos dados foi realizado para evitar a perda de dados (15 anos) decorrentes da média móvel no início do período de projeções, ou seja de 2005-2019.

A seguir aplicou-se uma média espacial global aos dados retornando o valor médio do domínio. Com essa série de desvio médio global buscou-se em cada modelo e projeção, o tempo em que ocorreu o aumento de temperatura de 1,5°C e 2,0°C (Tabelas 2 e 3). Por fim, obteve-se a média dos modelos e suas projeções no respectivo tempo encontrado, a qual foi plotada para todo o globo.

A Figura 1 demonstra o esquema do procedimento considerando o modelo INMCM4 no cenário RCP8.5, na latitude (longitude) de 05°S (60°O), onde a curva da série de anomalias (*Historical*+projeções) e a curva da série suavizada com a média móvel, demonstram o ano em que atinge o aquecimento de 1,5°C e 2,0°C.

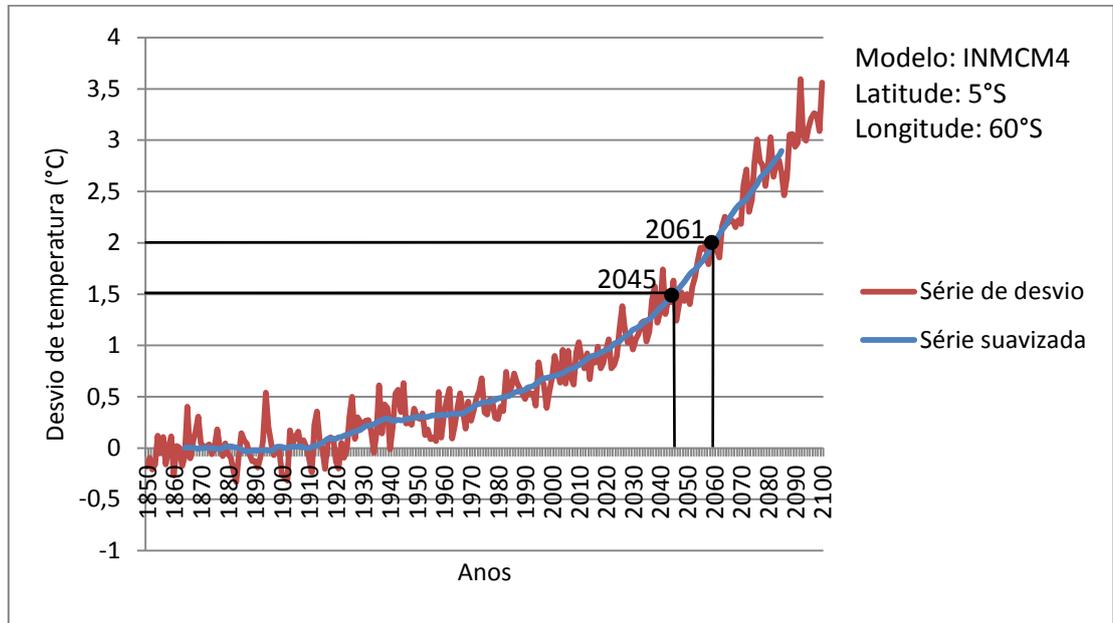


Figura 1 – Série temporal de desvios de temperatura do ar próximo a superfície para o período de 1850 a 2100 no cenário forçante RCP8.5. A curva em vermelho representa a série original de desvio e a azul representa a série suavizada com a aplicação da média móvel.

Com relação aos dados da precipitação, estes foram convertidos em mm ano^{-1} , e em seguida, foram processados de forma análoga aos dados de temperatura e plotados no tempo em que ocorreu o aquecimento de 1,5°C e 2,0°C, encontrados como descrito anteriormente.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta o padrão espacial médio projetado pelos 33 ESMs nos quatro cenários RCPs (RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 e RCP8.5) para um aquecimento global de 1,5°C e 2,0°C relativo ao período pré-industrial. As regiões pontilhadas indicam as áreas com temperaturas superiores a 1,5°C (Figura 2A) e 2,0°C (Figura 2B). Observa-se que algumas regiões como, por exemplo, a Austrália, América Central e a parte central da África (área abrangendo a bacia do Congo) não atingem a temperatura de 1,5°C – 2,0°C. Por outro lado, a região delimitada entre as latitudes 60°N - 90° N apresenta um aquecimento superior a 1,5°C ou 2,0°C. Um dos fatores que influenciam as maiores variações da temperatura é o efeito da continentalidade, que é maior sobre o Hemisfério Norte, pois a atmosfera é aquecida de baixo para cima assim, o tipo de superfície afetará a temperatura do ar, além disso, o continente

possui capacidade térmica menor do que da água que, considerando a radiação solar incidente numa mesma latitude, os continentes aquecem-se e resfriam-se mais rapidamente do que os oceanos (YNOUE, 2017).

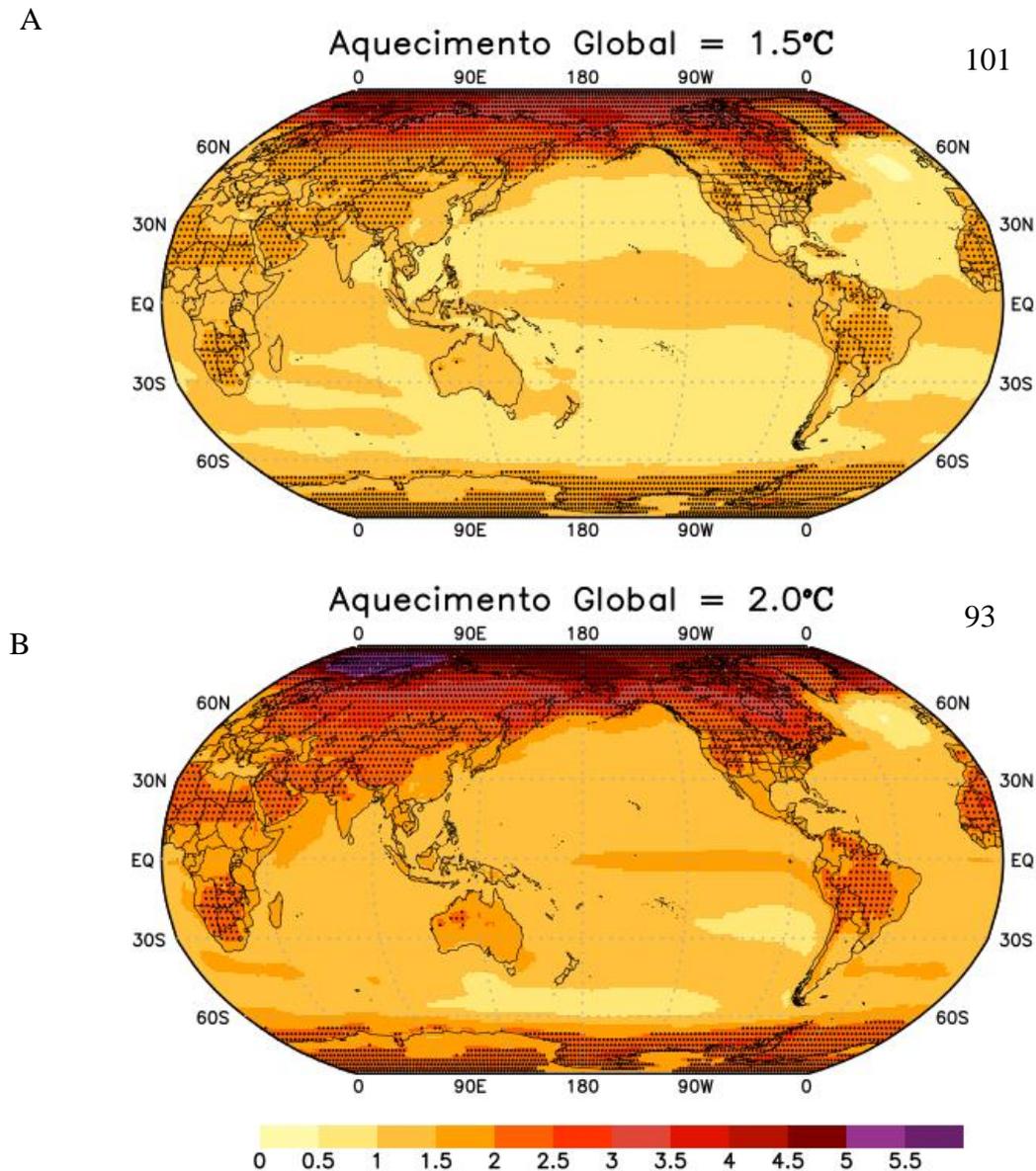


Figura 2 - Padrão espacial médio do desvio de temperatura projetado pelos 33 ESMs nos quatro cenários RCPs (RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 e RCP8.5) para um aquecimento global A) de 1,5°C e B) 2,0°C relativo ao período pré-industrial. As regiões pontilhadas indicam as áreas com temperaturas superiores a 1,5°C (Figura 2A) e 2,0°C (Figura 2B). O número de projeções usadas para calcular a média é indicado no canto superior direito de cada painel.

Grande parte da América do Sul (AS) e do Norte (AN), norte da Europa, norte e sul da África, por exemplo, apresentam um padrão de aquecimento mais intenso do que a média global, que é de aproximadamente 0,5°C, tanto para o limiar de 1,5°C quanto para 2,0°C. Esse aumento é observado, na AS, principalmente nas latitudes entre 10°N e 30°S, abrangendo

países como Venezuela, Bolívia, Peru, grande parte do Brasil, incluindo a bacia Amazônica, Chile e Argentina.

Um estudo realizado por Salazar (2009) utilizando o Modelo de Vegetação Potencial do CPTEC/INPE, considerando as projeções de três modelos regionais climáticos diferentes (ETA CCS, RegCM3 e HadRM3P) a partir de um cenário de altas emissões (A2 - que estima um aumento de temperatura entre 2,0°C e 5,4°C até 2100), mostrou desaparecimento da floresta Amazônica e substituição pela Savana no final do século (2070-2099) sob as condições projetadas de aumento da concentração de CO₂, elevação da temperatura e redução da precipitação (MARENGO et al., 2011). A redução da área da Floresta Amazônica, que desempenha um importante papel no equilíbrio do sistema climático local, regional e mesmo global, terá inúmeras consequências, principalmente devido a perda de biodiversidade, regulação das chuvas entre outros serviços ecossistêmicos que a floresta oferece (MARENGO et al., 2011). Aliado a isso, os resultados deste trabalho enfatizam a preocupação desses autores, uma vez que a Amazônia apresenta um aquecimento maior do que a média global.

Por outro lado, a região do Pampa, localizado na Argentina e parte da região sul do Brasil, apresenta um padrão de aquecimento menor que 1,0°C, considerando o padrão de 1,5°C. Já para o padrão de 2,0°C, verifica-se que o Uruguai e a grande parte da Argentina apresentam um padrão de aquecimento menor que 1,5°C.

As regiões que apresentam os menores aquecimentos estão localizadas sobre os oceanos, sendo projetados aquecimento em torno de 0,5°C abaixo da média global. A justificativa é que água possui capacidade térmica muito maior do que do sistema solo, por isso as variações na temperatura da água são menores do que no continente, o que faz com que o tempo necessário para aquecer e esfriar seja maior (YNOUE, 2017).

Segundo o IPCC (2013) a superfície dos oceanos localizados nas proximidades das regiões subtropicais, tropicais e do Hemisfério Norte terá um aquecimento mais pronunciado que nas demais regiões próximas ao oceano, sendo projetado em cerca de 0,6°C (RCP2,6) a 2,0°C (RCP8,5) entre 0 à 100 m de profundidade oceânica no final do século XXI. Esse aumento da temperatura do oceano influencia na temperatura do ar próximo a superfície projetadas pelos modelos.

Na Figura 3 podemos notar em quais locais esse aumento estará presente para cada cenário forçante individual, sendo esses basicamente nas mesmas regiões citadas anteriormente, porém com um aumento na área afetada gradualmente variando com o nível das forçantes radiativas (de 2.6 a 8.5 W m⁻²). Os resultados são semelhantes aos de Torres (2014) que analisou as projeções de mudanças para AS considerando a temperatura do ar

próximo à superfície para o final do século (2071-2100 relativo a 1961-1990), e identificou um aumento de temperatura superior a 1,0°C para praticamente toda AS, mais proeminente sobre a região tropical, podendo chegar a valores superiores a 5,0°C na região Amazônica, Bolívia, e centro-oeste e sudeste brasileiro, considerando o cenário de forçante mais intensa (RCP 8.5).

Esse aumento de temperatura previsto em todos os cenários irá modificar a evaporação, evapotranspiração impactando no balanço hídrico e consequentemente no zoneamento agroclimático (NOBRE, 2001; SANTOS et al., 2017). Em locais como, por exemplo, a maior parte do semiárido e em partes do Cerrado brasileiro, a prática agrícola poderia se tornar ainda mais deficiente (NOBRE, 2001).

Os impactos do aumento da temperatura nas cidades brasileiras irão alterar, por exemplo, a qualidade de vida, o uso de edificações como seu conforto térmico e seu redimensionamento, a poluição do ar (que em escala local é a mais grave - por problemas respiratórios) e os efeitos de ilha de calor, pois grandes cidades e metrópoles já sofrem com isso (RIBEIRO, 2008).

No Brasil, o agronegócio representa um principal setor para a economia do país. Segundo a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil, o valor bruto da produção do agronegócio alcançou R\$536,5 bilhões em 2017, dos quais R\$342,6 bilhões na produção agrícola e R\$193,9 no segmento pecuário. O estudo realizado por Assad e Pinto (2008) avaliou os impactos das mudanças climáticas no setor agrícola e mostrou que com o aumento das temperaturas, o Brasil poderá ter perdas de até R\$ 14 bilhões em 2070 (no cenário pessimista – A2). Além disso, as áreas aptas à produção agrícola sofrerão uma variação antes do final do século, onde haverá a diminuição de áreas aptas para plantio de algumas culturas, exceto aquelas regiões que atualmente sofrem com geadas - terão vantagens com o aumento de temperatura, e entre os produtos analisados, somente a cana-de-açúcar e a mandioca não sofrerão redução de área (ASSAD e PINTO, 2008).

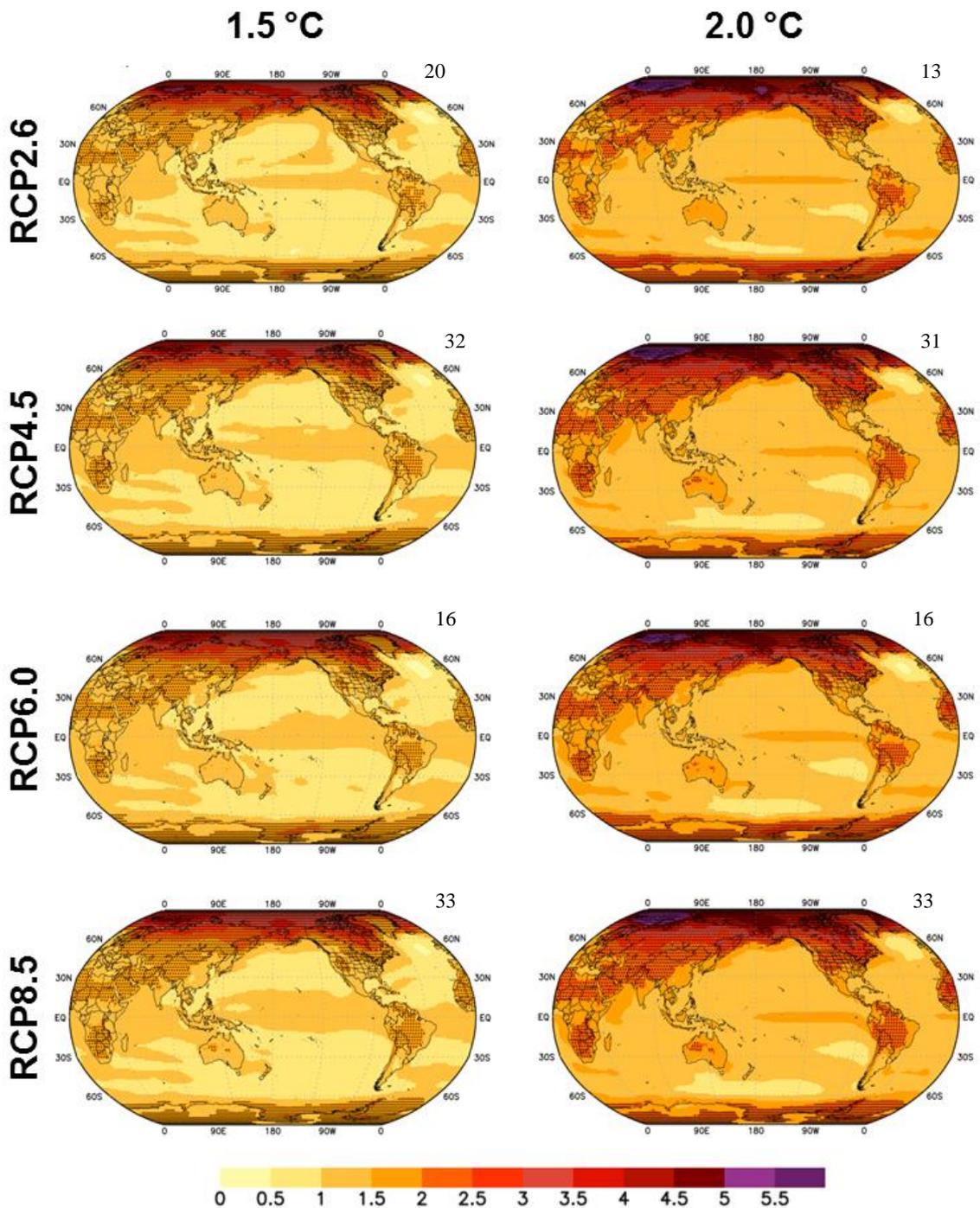


Figura 3 - Desvio da temperatura média global (°C) relativa ao período pré-industrial projetada pelos 33 modelos para cada cenário para o período 2005–2100. À esquerda para um aquecimento global de 1,5 °C e a direita para um aquecimento de 2,0 °C. As regiões pontilhadas indicam as áreas com temperaturas superiores a 1,5°C (Figura 2A) e 2,0°C (Figura 2B). O número de modelos usados para calcular a média é indicado no canto superior direito de cada painel.

Nas tabelas 2 e 3 são apresentados os anos médios referentes ao aquecimento de 1,5°C e 2,0°C, respectivamente, para cada modelo e cenário e uma média e desvio padrão para cada cenário. Pode-se observar que alguns modelos atingem o valor limítrofe de 1,5°C ou 2,0°C antes de 2020 ou até antes de 2017, como exemplos os modelos BCC-CSM1-1-m, CCSM4,

MIROC-ESM-CHEM, o que não é compatível com as observações atuais (Tabela 2). Portanto, optou-se por remover todos os modelos que atingirão tais aumentos de temperatura antes de 2020, para uma representação mais compatível com o atual ritmo observado de elevação da temperatura (representados na tabela por Média* e desvio padrão*).

Na análise dos dados de temperatura observa-se que para o cenário mais otimista (RCP2.6) o ano médio em que se atinge o aumento de 1,5°C é em 2034 (± 13 anos) (Tabela 2). Por outro lado, no cenário mais pessimista, o valor de 1,5°C pode ser atingido em 2026 (\pm cinco anos). Quando se compara os valores desses anos nos quais os modelos atingem certo limiar a partir de 2020 comparado aos valores dos dados gerais, pode-se notar que este aquecimento de 1,5°C é alcançado no mínimo dez anos mais para frente e que os desvios-padrão diminuem praticamente pela metade, exceto na projeção RCP2.6.

Tabela 2 - Ano referente ao aquecimento de 1,5 °C na média global de temperatura.

1,5°C DE AQUECIMENTO				
MODELO	RCP26	RCP45	RCP60	RCP85
ACCESS1-0	–	2020	–	2021
ACCESS1-3	–	2027	–	2023
BCC-CSM1-1	2007	2008	2007	2006
BCC-CSM1-1-m	1999	1999	1999	1999
BNU-ESM	2000	2000	–	2001
CanESM2	2008	2011	–	2008
CCSM4	2006	2004	2006	2004
CESM1-BGC	–	2008	–	2007
CESM1-CAM5	2016	2018	2018	2016
CMCC-CESM	–	–	–	2034
CMCC-CM	–	2025	–	2023
CMCC-CMS	–	2026	–	2023
CNRM	2020	2020	–	2017
CSIRO-Mk3-6-0	2026	2027	2040	2028
EC-EARTH	–	2010	–	2009
FGOALS-g2	x	2031	–	2026
FIO-ESM		2025	2024	2021
GISS-E2-H	2004	2003	2002	2003
GISS-E2-H-CC	–	1998	–	1998
GISS-E2-R	x	2030	2029	2022
GISS-E2-R-CC	–	2018	–	2018
INMCM4	–	2041	–	2035
IPSL-CM5A-LR	2010	2012	2011	2010
IPSL-CM5A-MR	2013	2014	2016	2013
IPSL-CM5B-LR	–	2017	–	2014

MIROC5	2035	2032	2046	2027
MIROC-ESM	2013	2013	2017	2013
MIROC-ESM-CHEM	2011	2014	2014	2012
MPI-ESM-LR	2018	2016	–	2013
MPI-ESM-MR	2016	2017	–	2016
MRI-CGCM3	2059	2037	2047	2033
NorESM1-M	2031	2028	2036	2024
NorESM1-ME	2030	2032	2035	2025
Média	2017	2018	2022	2016
Desvio Padrão	14	11	16	10
Média*	2034	2029	2037	2026
Desvio Padrão*	13	6	8	5

* representa que a projeção do modelo não atingiu o respectivo grau na série analisada (1850-2100) e o - representa que o modelo não possui a respectiva projeção.

Considerando o aumento de 2,0 °C (Tabela 3), para o cenário otimista (RCP2.6) o ano em que atinge este aumento é em 2034 (± 15 anos) e para o pessimista (RCP8.5) é em 2033 (± 8 anos). O ano mais tardio em que é alcançado este limiar é em 2043 (RCP6.0). Quando se compara os valores quando os modelos atingem a temperatura a partir de 2020 com os valores dos dados gerais eles não se diferem muito, pois é esperado que o aquecimento de 2,0°C realmente aconteça mais tarde.

Vale ressaltar que, muitas vezes, utilizando diferentes ESMs com o mesmo período e o mesmo cenário de forçantes, pode-se encontrar resultados diferentes, devido à ampla gama de incertezas inseridas nas diversas etapas inerentes à produção de uma projeção, o que inibe uma afirmação mais irrefutável sobre os padrões apresentados (TORRES, 2014).

Tabela 3 - Ano referente ao aquecimento de 2,0°C na média global de temperatura.

2,0°C DE AQUECIMENTO				
MODELO	RCP26	RCP45	RCP60	RCP85
ACCESS1-0	–	2039	–	2032
ACCESS1-3	–	2044	–	2034
BCC-CSM1-1	2032	2027	2031	2025
BCC-CSM1-1-m	2011	2012	2010	2011
BNU-ESM	2012	2012	–	2013
CanESM2	2022	2024	–	2019
CCSM4	2025	2024	2025	2018
CESM1-BGC	–	2028	–	2021
CESM1-CAM5	2031	2030	2034	2028
CMCC-CESM	–	–	–	2044
CMCC-CM	–	2042	–	2035
CMCC-CMS	–	2041	–	2034

CNRM	2047	2038	–	2031
CSIRO-Mk3-6-0	2073	2041	2057	2039
EC-EARTH	–	2029	–	2024
FGOALS-g2	x	2061	–	2039
FIO-ESM	x	x	2053	2037
GISS-E2-H	2028	2020	2020	2018
GISS-E2-H-CC	–	2015	–	2014
GISS-E2-R	x	2065	2059	2039
GISS-E2-R-CC	–	2051	–	2036
INMCM4	–	2073	–	2050
IPSL-CM5A-LR	2028	2029	2030	2025
IPSL-CM5A-MR	2035	2029	2034	2026
IPSL-CM5B-LR	–	2035	–	2028
MIROC5	x	2054	2062	2041
MIROC-ESM	2026	2024	2030	2022
MIROC-ESM-CHEM	2022	2026	2028	2022
MPI-ESM-LR	x	2036	–	2030
MPI-ESM-MR	x	2038	–	2033
MRI-CGCM3	x	2062	2063	2043
NorESM1-M	x	2050	2058	2038
NorESM1-ME	x	2049	2058	2039
Média	2030	2037	2041	2030
Desvio Padrão (s)	16	16	17	10
Média*	2034	2040	2043	2033
Desvio Padrão (s)*	15	14	16	8

* representa que a projeção do modelo não atingiu o respectivo grau na série analisada (1850-2100) e o - representa que o modelo não possui a respectiva projeção.

Na Figura 4 é apresentado o ano referente ao aumento de temperatura de 2,0°C relativo ao período pré-industrial, sendo uma média de todos os cenários (RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 e RCP8.5). Observa-se que esse aumento de temperatura ocorrerá antecipadamente (2020-2030) em altas latitudes no Hemisfério Norte, parte da África (sobre o Deserto do Saara e do Kalahari), região central da AS e partes da Antártida. O IPCC (2013) também mostra, com uma confiança muito alta, que a região do Ártico vai se aquecer mais rapidamente do que a média global.

As regiões em branco indicam aquelas que não atingirão o limiar até 2100, como em algumas partes do oceano Atlântico e principalmente no sul do Pacífico e do Índico.

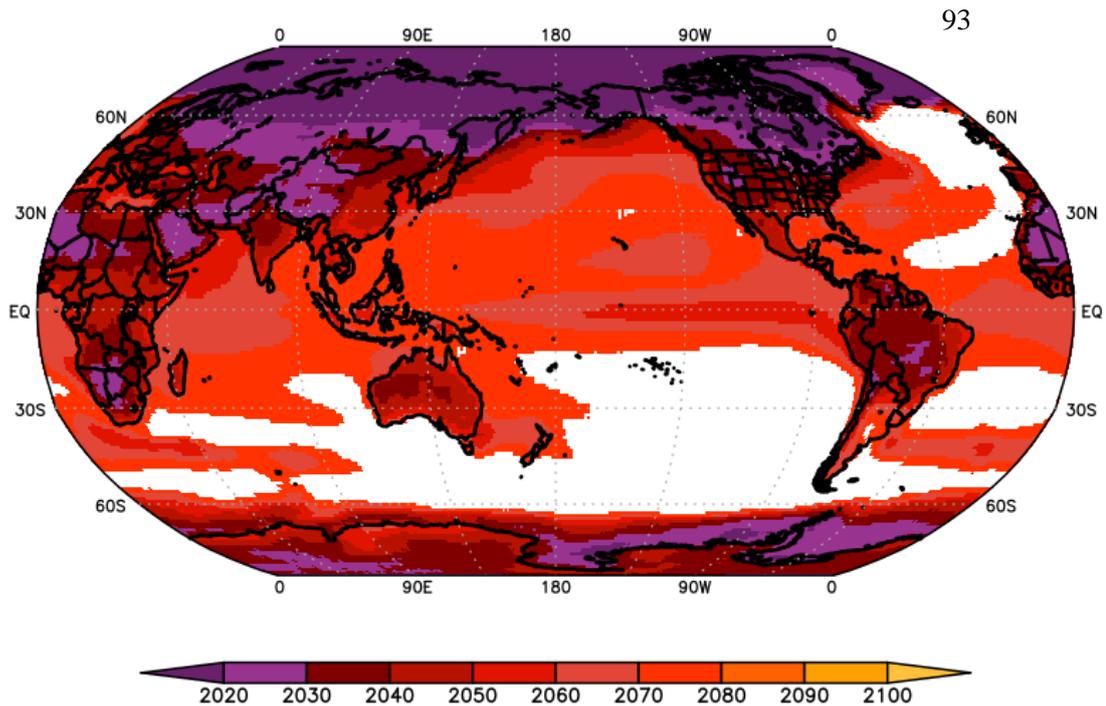


Figura 4 - Ano referente ao aumento de temperatura de 2,0°C relativo ao período pré-industrial projetada pelos 33 modelos, sendo uma média de todos os cenários (RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 e RCP8.5). O número de projeções usadas para calcular a média é indicado no canto superior direito de cada painel.

A Figura 5 apresenta o ano referente ao aumento de temperatura de 2,0°C relativo ao período pré-industrial projetada pelos 33 modelos para cada cenário avaliado. No cenário mais otimista (RCP2.6) observamos que, por exemplo, a América Central, centro da África, sul da AS e parte da Austrália não atingirá o aumento de 2,0°C antes do final do século (2100). Já no cenário mais pessimista (RCP8.5) grande parte do Hemisfério Norte atingirá esse aumento até 2030 e a maior parte do mundo até 2060.

Na AS, observa-se que grande parte do Brasil, Bolívia, Peru, Venezuela, pequena parte do Paraguai, Argentina, Chile, Colômbia e Equador atingirá essa temperatura antes da primeira metade do século (2050) e em grande parte até 2030. Apenas uma pequena parte da Argentina, entre 33° S e 40° S de latitude não alcançará este limiar antes de 2100 nos RCP2.6 e RCP4.5. No cenário otimista observa-se que a parte litorânea e o sul da AS não atingem os 2,0°C antes de 2100, e no interior do continente essa temperatura é atingida até 2040 aproximadamente. A partir do cenário RCP4.5 todo o continente atingirá esse aquecimento de temperatura dentro deste século, sendo que no cenário pessimista isto ocorre mais cedo (até a primeira metade do século) e em grande parte (centro-oeste do Brasil, Bolívia, Peru, Chile, Venezuela, Guiana, parte do Paraguai e Argentina) até 2030. Em todos os cenários o Brasil, Bolívia e Venezuela apresentam o ano de ocorrência mais cedo do que o restante do continente.

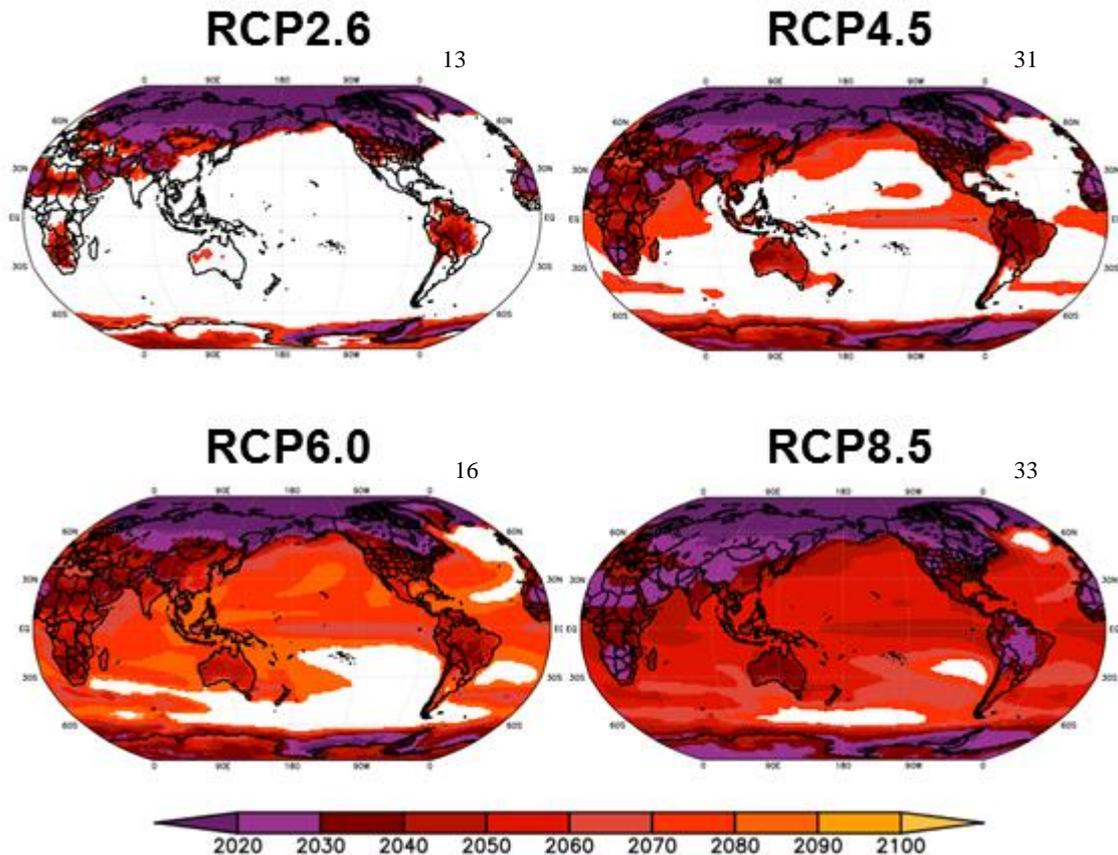


Figura 5 - Ano referente ao aumento de temperatura de 2,0°C relativo ao período pré-industrial projetada pelos 33 modelos para cada cenário avaliado. O número de modelos usados para calcular a média é indicado no canto superior direito de cada painel.

Já com relação ao padrão espacial do desvio da precipitação média global, projetada pelos 33 ESMs em seus diferentes cenários de emissões, relativo ao período pré-industrial (Figura 6) mostra um comportamento similar para o aquecimento de 1,5°C (Figura 6A) e 2,0°C (Figura 6B), sendo o campo de 2,0°C ligeiramente mais intenso. No globo observa-se anomalia positiva no Oceano Pacífico equatorial, na AN, de 60°S a 90°S, na Austrália e no leste da África. Anomalias negativas são encontradas no Sul da China, na América Central, no sul e oeste da África. O IPCC (2013) também indica um aumento provável na precipitação média anual em altas latitudes e no Oceano Pacífico Equatorial até o final do século sob o cenário RCP8.5.

Na AS, as regiões do Peru, Colômbia, Equador, sul da Venezuela, noroeste da região Norte do Brasil e Nordeste brasileiro e na região sudeste da AS observa-se anomalia positiva da precipitação da ordem de aproximadamente 50 mm ano⁻¹. Uma das possíveis causas para o aumento de precipitação no sudeste desse continente pode ser o aumento da intensidade do vento no centro-norte do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul, como mostrado nas projeções do RegCM4 para 2070-2098 por Reboita et al. (2017), podendo transportar mais

umidade para essa região. As alterações no clima para a região Sul do Brasil é de substancial importância para economia do país, uma vez que essa é uma área de produção agrícola e agropecuária (CERA e FERRAZ, 2015).

Nas demais áreas da AS é observada anomalias negativas de precipitação, sendo mais intensa no sul do Chile, norte da Colômbia e norte da Venezuela. Estudos realizados por Reboita et al. (2014) e Llopart et al. (2014) mostram que a intensidade dos ventos alísios irá diminuir em direção ao continente, transportando menos umidade para o norte da AS, podendo ser uma das causas do déficit de precipitação sobre essa região, principalmente sobre a Amazônia. Tal redução da precipitação causada pelas mudanças climáticas mais a redução causada pelo desmatamento na Amazônia poderão aumentar a vulnerabilidade desse ecossistema (NOBRE, 2001; SILVEIRA et al., 2017).

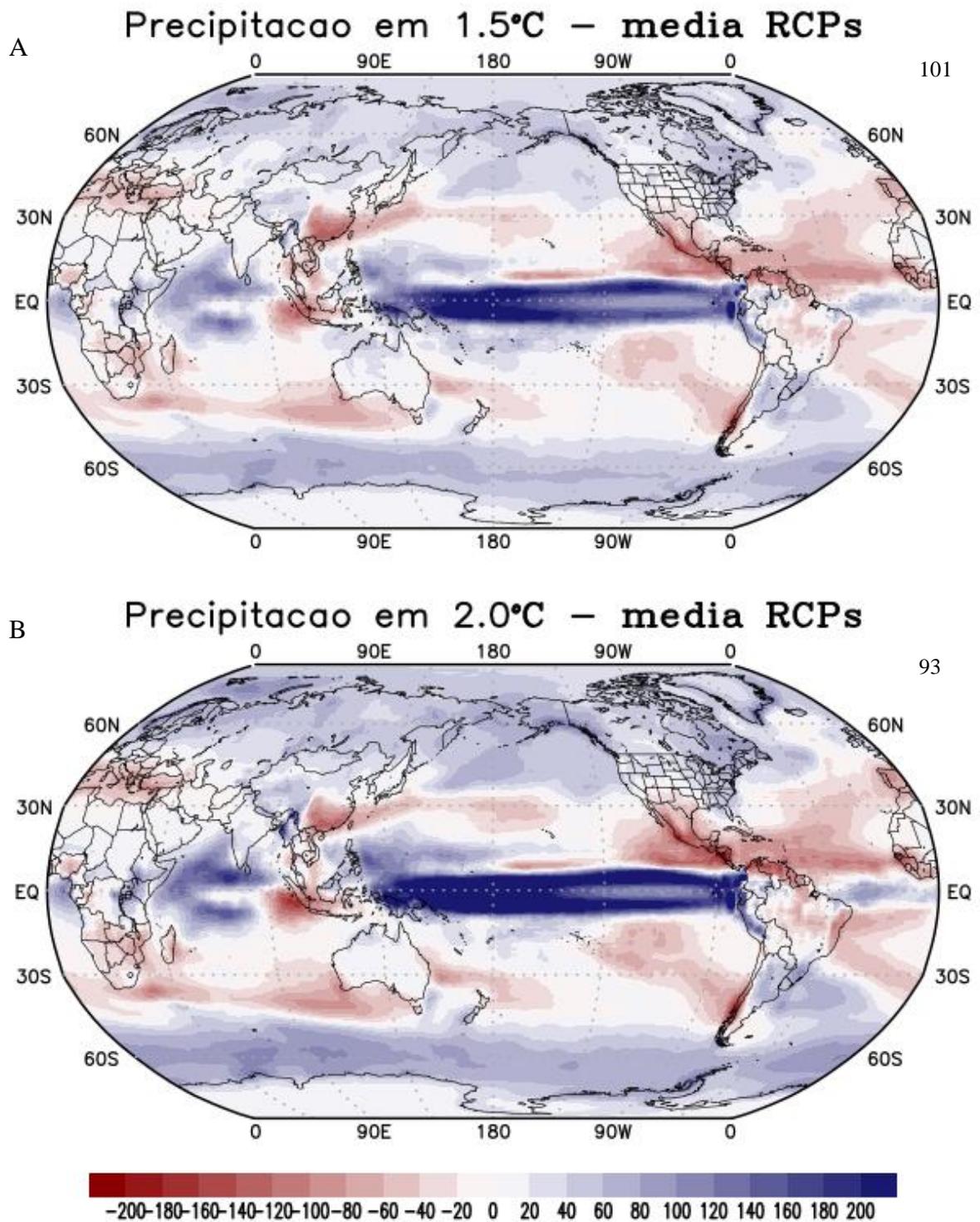


Figura 6 – Padrão espacial do desvio da precipitação média global (mm ano^{-1}), projetada pelos 33ESMs nos quatro cenários (RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 e RCP8.5) para um aquecimento global A) de 1,5°C e B) 2,0°C relativo ao período pré-industrial. O número de projeções usadas para calcular a média é indicado no canto superior direito de cada painel.

No Figura 7 é apresentado o desvio da precipitação média global relativa ao período pré-industrial projetada pelos 33 modelos para cada cenário forçante individual (RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 e RCP8.5). Os resultados são similares ao encontrado por IPCC (2014) na projeção de mudança na precipitação média com base em projeções de média multi-modelo

para 2081-2100 em relação a 1986-2005 onde há anomalias positivas ao noroeste do continente e sobre o sul e norte da região nordeste do Brasil, Paraguai, Argentina e Uruguai aproximadamente, onde no RCP8.5 os valores são mais intensos.

De forma geral, em todas as projeções há um aumento de precipitação nos polos e na região da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e redução expressiva na América Central, sul da América do Sul, sul da China e Indonésia.

Comparando os mapas de temperatura e precipitação pode-se notar que na AS e no norte e sul da África onde há maior aumento de temperatura, em ambos os aquecimentos (1,5 °C e 2,0 °C) há anomalia negativa da precipitação.

Em todas as projeções são detectados aumentos de precipitação na região Sul do Brasil. Os impactos do aumento de chuvas, principalmente de chuvas intensas (25,1 e 50 mm/h), nas cidades brasileiras pode agravar problemas de alagamentos, principalmente daqueles que residem perto de corpos d'água ou em regiões de vales, deslizamentos de encostas que coloca em risco seus habitantes, erosão nas vertentes e ocorrência de enchentes, os quais geram prejuízos e perdas humanas todos os anos no país (RIBEIRO, 2008).

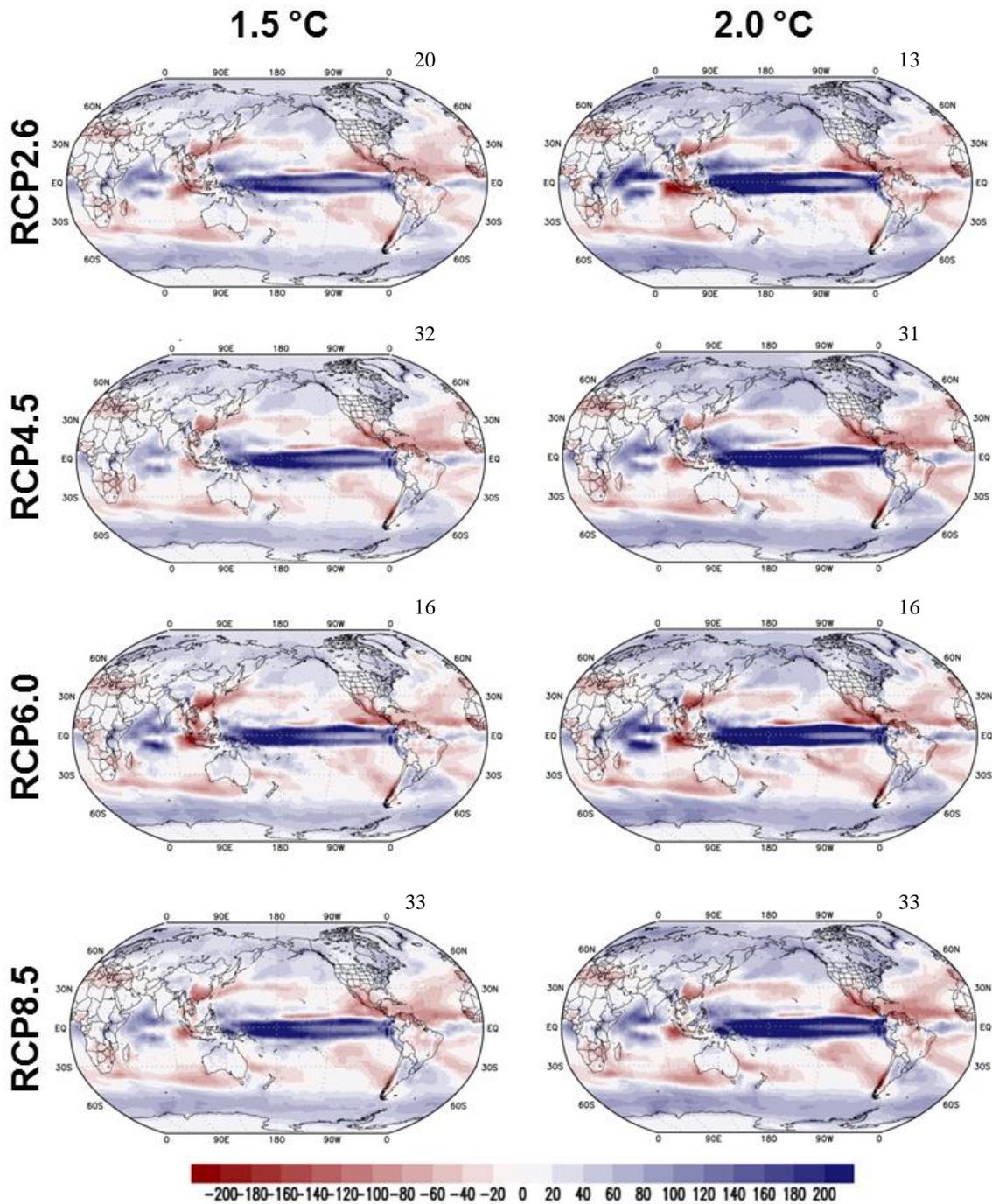


Figura 7 - Desvio da precipitação média global (mm ano^{-1}) relativa ao período pré-industrial projetada pelos 33 ESMs para cada cenário para o período 2005–2100. À esquerda para um aquecimento global de $1,5^{\circ}\text{C}$ e a direita para um aquecimento de $2,0^{\circ}\text{C}$. O número de modelos usados para calcular a média é indicado no canto superior direito de cada painel.

4 CONCLUSÃO

Os valores de anomalia de temperatura e precipitação e os anos limítrofes para alcançar os aumentos de temperatura de $1,5^{\circ}\text{C}$ e $2,0^{\circ}\text{C}$ variam de acordo com o modelo e o cenário forçante.

O aumento de temperatura será maior que 1,0°C em todo o globo para um aquecimento global de 1,5°C e 2,0°C, tendo as maiores magnitudes no Polo Norte. Para cada projeção, o aumento ocorrerá nas mesmas regiões, sendo intensificado no cenário de forçante radiativa mais intensa.

De modo geral, o aumento de temperatura global de 1,5°C será atingido em 2031 e o aumento de 2,0°C em 2037.

Em relação ao ano em que cada região do globo atingirá 2,0°C de aquecimento será antecipada no Hemisfério Norte entre 30° N e 90° N e no Polo Sul e, mais tardia, no sul dos continentes do Hemisfério Sul e nos oceanos.

Para precipitação, de forma geral, é projetada anomalias positivas nos polos e na região da ZCIT e anomalias negativas expressivas na América Central, sul da América do Sul, sul da China e Indonésia.

5 REFERÊNCIAS

ADGER, W. N.; PULHIN J. M.; BARNETT J.; DABELKO G. D.; HOVELSRUD G. K.; LEVY M., SPRING Ú. O.; VOGEL C. H. Human Security. In: FIELD, C.B. et al., **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge, UK, and New York, NY: Cambridge University Press, 2014. cap. 12, p. 755–791.

AKANLE, T.; APPLETON, A.; KULOVESI, K.; SCHULZ, A.; SOMMERVILLE, M.; SPENCE, C.; YAMINEVA, Y. Summary of the Copenhagen climate change conference, 7–19 December 2009. **Earth Negotiations Bulletin–IIDS Reporting Services**, v. 12, n. 459, p. 1-30, 2009.

ASSAD, E.; PINTO, H. S. **Aquecimento Global e a nova Geografia da Produção agrícola no Brasil**. São Paulo: Embrapa/Unicamp, 2008. 84 p.

CAMPBELL, B. M.; VERMEULEN, S. J.; AGGARWAL, P. K.; CORNER-DOLLOFF, C.; GIRVETZ, E.; LOBOGUERRERO, A. M.; RAMIREZ-VILLEGAS, J.; ROSENSTOCK, T.; SEBATHIAN, L.; THORNTON, P. K.; WOLLENBERG, E. Reducing risks to food security from climate change. **Global Food Security**, v. 11, p. 34-43, 2016.

CERA, J. C.; FERRAZ, S. E. T. Variações climáticas na precipitação no sul do Brasil no clima presente e futuro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 1, p. 81-88, 2015.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL –CNA. **Panorama do Agro**. Disponível em: <<https://www.cnabrazil.org.br/cna/panorama-do-agro>>. Acesso em: 05 de outubro de 2018.

COSTA, P. O. **Resposta político-econômica às mudanças climáticas: origens, situação atual e incertezas do mercado de créditos de carbono**. 2004. 131 f. Dissertação (Mestrado em Administração) - Universidade Federal da Bahia, Salvador.

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

DE SOUZA, E. B.; CARMO, A. M. C.; MOARES, B. C.; NACIF, A.; FERREIRA, D. B. S.; ROCHA, E. J. P.; SOUZA, P. J. D. O. P. Sazonalidade da precipitação sobre a Amazônia Legal Brasileira: clima atual e projeções futuras usando o modelo RegCM3. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 18, p. 293-306, 2016.

FALKNER, R. The Paris Agreement and the new logic of international climate politics. **International Affairs**, v. 92, n. 5, p. 1107-1125, 2016.

INMET-Instituto Nacional de Meteorologia; UOL Ciência e Saúde. **Seca de 2012 a 2017 no semiárido foi a mais longa na história do Brasil**. Disponível em: <

<https://noticias.uol.com.br/meio-ambiente/ultimas-noticias/redacao/2018/03/03/seca-de-2012-a-2017-no-semiarido-foi-a-mais-longa-da-historia.htm>>. Acesso em: 30 de outubro de 2018.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL OF CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Edited by T. F. Stocker, D. Qin, G. K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, P. M. Midgley, 2013.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL OF CLIMATE CHANGE. Summary for Policymakers. In: PACHAURI, R. K. e MEYER, L. A., **Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Geneva, Switzerland: 2014, p. 1-31.

JAMES, R.; WASHINGTON, R.; SCHLEUSSNER, C. F.; ROGELJ, J.; CONWAY, D. Characterising half a degree difference: a review of methods for identifying regional climate responses to global warming targets. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change** - London School of Economics and Political Science, v. 8, p. 1-23, 2017.

JAYARAMAN, T.; KANITKAR, T. The Paris Agreement - Deepening the Climate Crisis. **Economic and Political Weekly**, v. 51, n. 3, p. 10-13, 2016.

JONES, P. W. First- and Second-Order Conservative Remapping Schemes for Grids in Spherical Coordinates. **American Meteorological Society**, v. 127, p. 2204-2210, 1999.

LLOPART, M.; COPPOLA, E.; GIORGI, F.; DA ROCHA, R. P.; CUADRA, S. V. Climate change impact on precipitation for the Amazon and La Plata basins. **Climate Change**, v. 125, p. 111-125, 2014.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; CHOU, S. C.; TOMASELLA, J.; SAMPAIO, G.; ALVES, L. M.; OBREGÓN, G. O.; SOARES, W. R.; BETTS, R.; KAY, G. **Riscos das mudanças climáticas no Brasil**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2011. 56 p.

MARENGO, J. A. O futuro clima do Brasil. **Revista USP**, n. 103, p. 25-32, 2014.

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

MYSIAK, J.; SURMINSKI, S.; THIEKEN, A.; MECHLER, R.; AERTS, J. Brief communication: Sendai framework for disaster risk reduction - Success or warning sign for Paris? **Natural Hazards Earth System Sciences**, v. 16, p. 2189-2193, 2016.

NOBRE, C. A. Mudanças climáticas globais: possíveis impactos nos ecossistemas do país. **Parcerias estratégicas**, v. 6, n. 12, p. 239-258, 2001.

RANDALL, D. A.; WOOD, R. A. **Climate models and their evaluation**. In: SOLOMON, S.; QIN D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K.B.; TIGNOR, M.;

MILLER, H.L. The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge e New York: Cambridge University Press, 2007. cap. 8, p. 589-662.

REBOITA, M. S.; AMARO, T. R.; DE SOUZA, M. R. Winds: intensity and power density simulated by RegCM4 over South America in present and future climate. **Climate Dynamics**, v. 51, n. 1-2, p. 187-205, 2017.

REBOITA, M. S.; DA ROCHA, R. P.; DIAS, C. G.; YNOUE, R. Y. Climate projections for South America: RegCM3 driven by HadCM3 and ECHAM5. **Advances in Meteorology**, v. 2014, p. 1-17, 2014.

RIBEIRO, W. C. Impactos das mudanças climáticas em cidades no Brasil. **Parcerias estratégicas**, v. 13, n. 27, p. 297-322, 2008.

ROGELJ, J.; ELZEN, M. D.; HÖHNE, N.; FRANSEN, T.; FEKETE, H.; WINKLER, H.; SCHAEFFER, R.; SHA, F.; RIAHI, K.; MEINSHAUSEN, M. Paris Agreement climate proposals need a boost to keep warming well below 2 °C. **Nature**, v. 534, n. 7609, p. 631-639, 2016.

SALAZAR, L. F. V. **Consequências das mudanças climáticas dos biomas da América do Sul, com ênfase na Amazônia e Nordeste**. 2009. 277 f. Dissertação (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.
SALES, D. C.; COSTA, A. A.; DA SILVA, E. M.; JÚNIOR, F. D. C. V.; CAVALCANTE, A. D. M. B.; MEDEIROS, S. S.; MARIN, A. M. P.; GUIMARÃES, S. O.; JUNIOR, L. M. A.; PEREIRA, J. M. R. Projeções de mudanças na precipitação e temperatura no Nordeste brasileiro utilizando a técnica de Downscaling dinâmico. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 4, p. 435-456, 2015.

SANTOS, T. S. **Cálculo das incertezas climáticas sobre América do Sul utilizando modelos do CMIP5: aferição através das redes neurais artificiais**. 2015. 89f. Dissertação (Doutorado em Ciências Climáticas) - Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

SANTOS, D. F.; MARTINS, F. B.; TORRES, R. R. Impacts of climate projections on water balance and implications on olive crop in Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.21, n.2, p.77-82, 2017.

SILVEIRA, L. G. T.; CORREIA, F. W. S.; CHOU, S. C.; LYRA, A.; GOMES, W. B.; VERGASTA, L.; SILVA, P. R. T. Reciclagem de Precipitação e Desflorestamento na Amazônia: Um Estudo de Modelagem Numérica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 3, p. 417-432, 2017.

TAYLOR, K. E.; STOUFFER, R. J.; MEEHL, G. A. An overview of CMIP5 and the experiment design. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 93, n. 4, p. 485-498, 2012.

TORRES, R. R. **Análise de incertezas em projeções de mudanças climáticas na América do Sul**. 2014. 271 f. Dissertação (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

TORRES, R. R.; MARENGO, J. A. Climate change hotspots over South America: from CMIP3 to CMIP5 multi-model datasets. **Theoretical and applied climatology**, v. 117, n. 3-4, p. 579-587, 2014.

TORRES, R. R.; LAPOLA, D. M.; MARENGO, J. A.; LOMBARDO, M. A; Socio climatic hotspots in Brazil, **Climatic Change**, v.115, n. 3-4, p. 597-609, 2012.

VAN VUUREN, D. P.; EDMONDS, J.; KAINUMA, M.; RIAHI, K.; THOMSON, A.; HIBBARD, K.; HURTT, G. C.; KRAM, T.; KREY, V.; LAMARQUE, J. F.; MASUI, T.; MEINSHAUSEN, M.; NAKICENOVIC, N.; SMITH, S. J.; ROSE, S. K. The representative concentration pathways: an overview. **Climatic Change**, v. 109, p. 5-31, 2011.

YNOUE, R. Y.; REBOITA, M. S.; AMBRIZZI, T.; SILVA, G. A. M. **Meteorologia: Noções Básicas**. Oficina de Textos, São Paulo, 2017. 178 p.