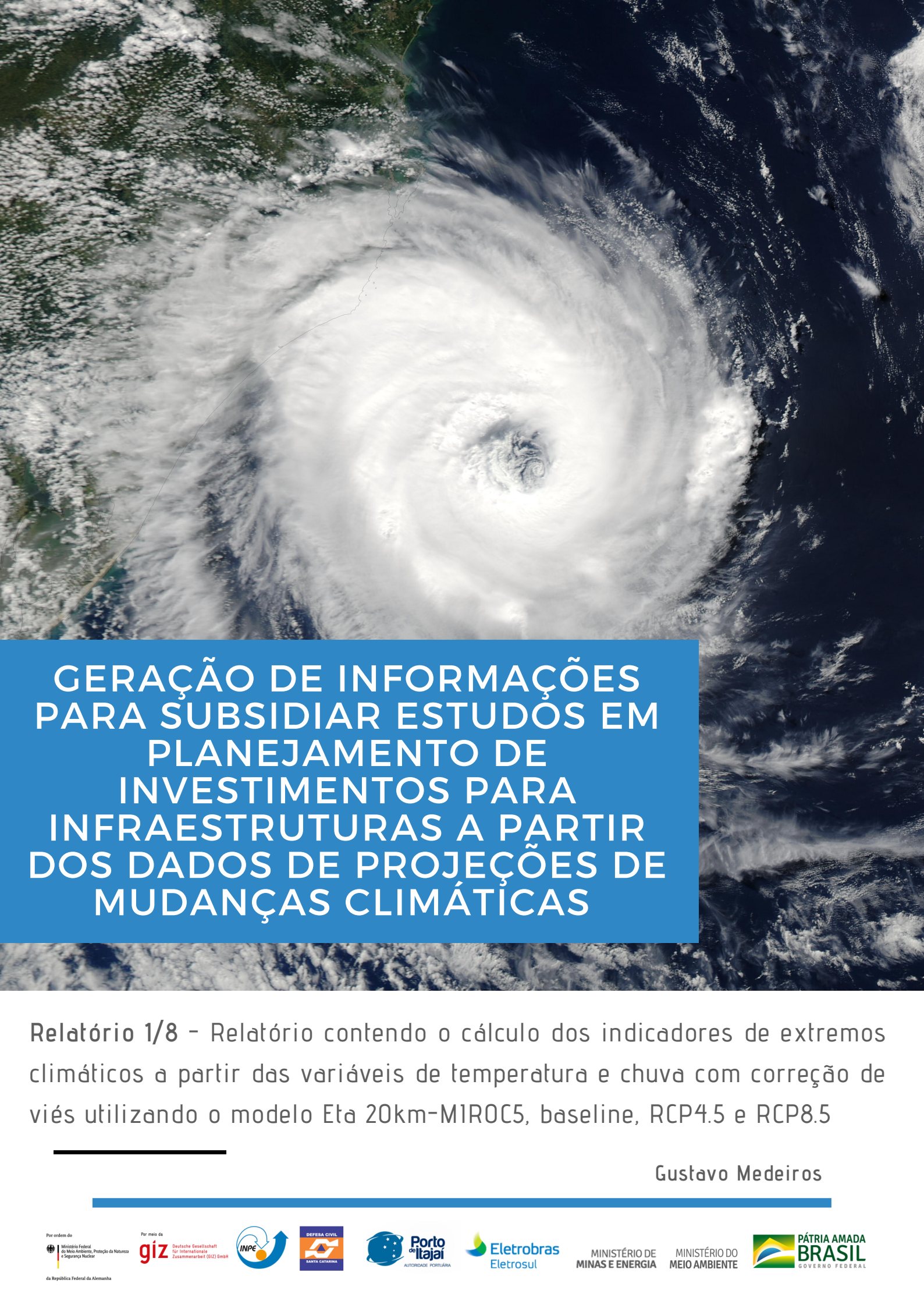




# GERAÇÃO DE INFORMAÇÕES PARA SUBSIDIAR ESTUDOS EM PLANEJAMENTO DE INVESTIMENTOS PARA INFRAESTRUTURAS A PARTIR DOS DADOS DE PROJEÇÕES DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Relatório 1/8 - Relatório contendo o cálculo dos indicadores de extremos climáticos a partir das variáveis de temperatura e chuva com correção de viés utilizando o modelo Eta 20km-MIROC5, baseline, RCP4.5 e RCP8.5

Gustavo Medeiros

Elaborado por: **Gustavo Sueiro Medeiros** - [gustavo.sueiro@cptec.inpe.br](mailto:gustavo.sueiro@cptec.inpe.br)

Essa publicação foi realizada por uma equipe formada por consultores independentes sob a coordenação da Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável, por meio do projeto Ampliação dos Serviços Climáticos para Investimentos em Infraestrutura (CSI).

Este projeto foi pactuado no âmbito da Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável, por meio da parceria entre o Ministério do Meio Ambiente do Brasil e a Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ), no âmbito da Iniciativa Internacional para o Clima (IKI, sigla em alemão), do Ministério Federal do Meio Ambiente, Proteção da Natureza e Segurança Nuclear (BMU, sigla em alemão).

Participaram desse processo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), a Empresa Eletrosul/ Eletrobrás e a Defesa Civil de Santa Catarina.

Todas as opiniões aqui expressas são de inteira responsabilidade dos autores, não refletindo necessariamente a posição da GIZ e do MMA. Este documento não foi submetido à revisão editorial.

#### **EQUIPE TÉCNICA - MMA**

Hugo do Valle Mendes (coordenação)  
Adriana Brito da Silva  
Jaqueline Leal Madruga

#### **EQUIPE TÉCNICA - GIZ**

Ana Carolina Câmara (coordenação)  
Eduarda Silva Rodrigues de Freitas  
Pablo Borges de Amorim

#### **EQUIPE TÉCNICA - DEFESA CIVIL/ SANTA CATARINA**

Flavio Rene Brea Victoria  
Frederico Moraes Rudorff

#### **INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

Chou Sin Chan

#### **Ministério do Meio Ambiente**

Esplanada dos Ministérios, Bloco B, Brasília/DF, CEP  
70068-901  
Telefone: + 55  
61 2028-1206

#### **Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH**

Sede da GIZ: Bonn e Eschborn  
GIZ Agência Brasília  
SCN Quadra 01 Bloco C Sala 1501  
Ed. Brasília Trade Center - 70.711-902 Brasília/DF  
T + 55-61-2101-2170  
E [giz-brasilien@giz.de](mailto:giz-brasilien@giz.de)  
[www.giz.de/brasil](http://www.giz.de/brasil)

A encargo de:

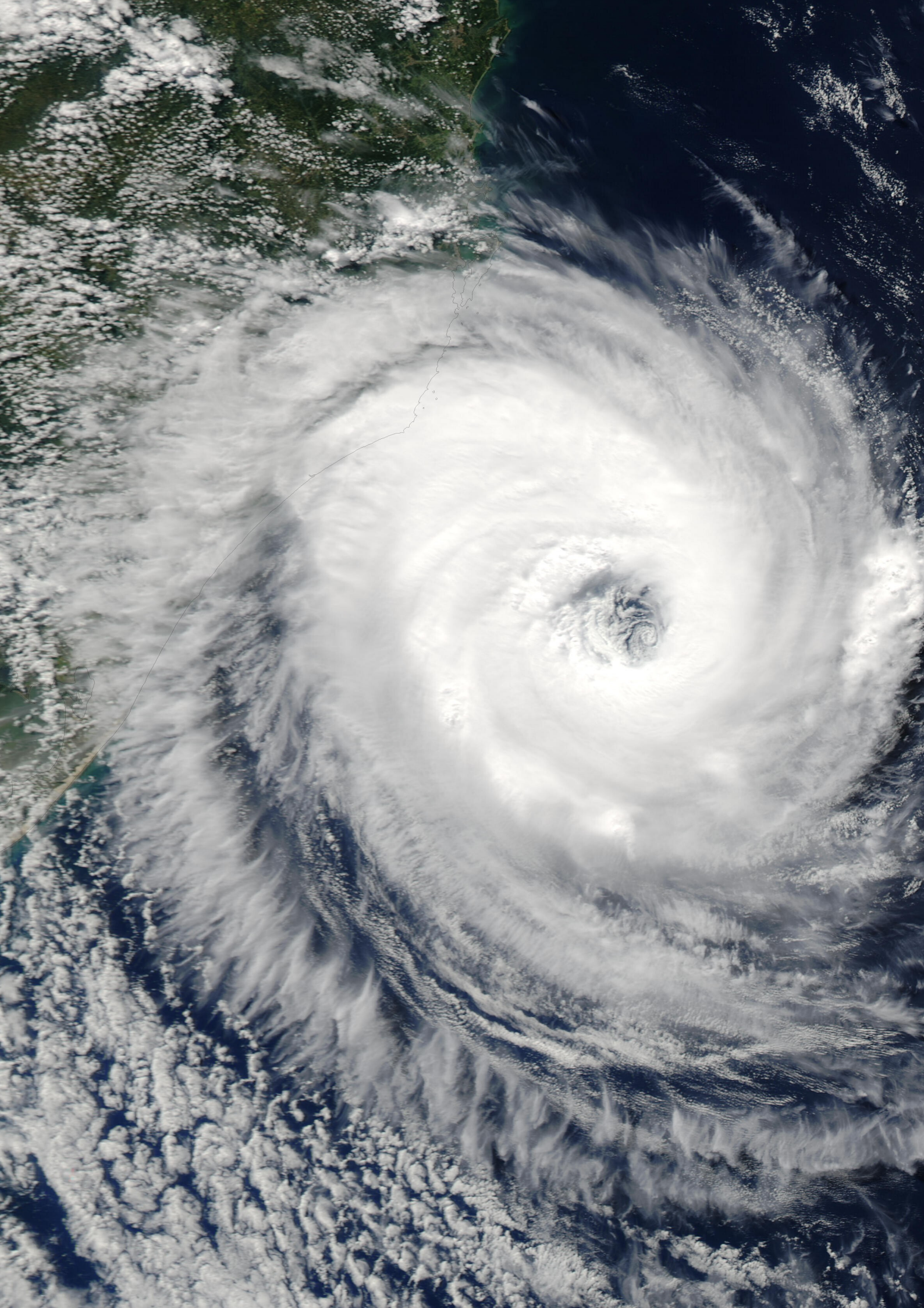
**Ministério Federal do Ambiente, Proteção da Natureza e Segurança Nuclear (BMU) da Alemanha**

BMU Bonn:  
Robert-Schuman-Platz 3  
53175 Bonn, Alemanha  
T +49 (0) 228 99 305-0

Diretora de Projeto:

**Ana Carolina Câmara**  
T +55 61 9 99 89 71 71  
T +55 61 2101 2098  
E [ana-carolina.camara@giz.de](mailto:ana-carolina.camara@giz.de)







## Sumário

|                                                  |           |
|--------------------------------------------------|-----------|
| <b>Lista de Figuras</b>                          | <b>iv</b> |
| <b>Lista de Tabelas</b>                          | <b>ix</b> |
| <b>1.0 Introdução</b>                            | <b>1</b>  |
| 1.1 <i>Objetivo</i>                              | 2         |
| <b>2.0 Dados e Metodologia</b>                   | <b>3</b>  |
| 2.1 <i>Modelo Eta-MIROC5</i>                     | 3         |
| 2.2 <i>Correção de viés</i>                      | 4         |
| 2.3 <i>Extremos Climáticos</i>                   | 6         |
| 2.3.1 <i>Índices de Extremos de Precipitação</i> | 7         |
| 2.3.2 <i>Índices de Extremos de Temperatura</i>  | 9         |
| 2.4 <i>Metodologia</i>                           | 13        |
| <b>3.0 Resultados</b>                            | <b>14</b> |
| <b>4.0 Produtos disponibilizados</b>             | <b>18</b> |
| <b>5.0 Próximas etapas</b>                       | <b>21</b> |
| <b>6.0 Síntese e considerações finais</b>        | <b>47</b> |
| <b>Referências Bibliográficas</b>                | <b>48</b> |



## Lista de Figuras

- Figura 1** Níveis de risco associados às mudanças climáticas. IPCC AR5 – *Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Fonte: adaptado de IPCC (2014) e Dias (2014). ..... 2
- Figura 2** Método de correção de viés Quantil-Quantil proposto por Bárdossy e Pegram (2011). Esquematização da transformação quantil-quantil duplamente relacionado a uma função de distribuição de probabilidade cumulativa (FDP) do dado simulado por um modelo climático a uma FDP de um dado observado para um período de referência. Os eixos verticais mostram as FDP's e os eixos horizontais são em milímetros. O ponto futuro do modelo (FDP\_SimFUT) é deslocado no mesmo nível em comparação a FDP simulada no período histórico (FDP\_SimHIST) e a FDP observada num período de referência (FDP\_Obs), processo esse que preserva a classificação no valor deslocado. Fonte: Adaptado de Bárdossy e Pegram (2011). ..... 5
- Figura 3** Análise das correções de precipitação (mm/dia) do modelo Eta-MIROC5. A linha azul representa o ciclo anual das séries observadas das estações meteorológicas selecionadas, a linha verde representa o modelo Eta-MIROC5 para o período baseline e a linha vermelha representa o modelo após a correção de viés. Nessas análises o período considerado foi 1961-2005. O eixo da direita se refere ao erro médio absoluto (MAE) do modelo antes e após a correção de viés. .... 15
- Figura 4** Análise das correções da temperatura máxima (°C) do modelo Eta-MIROC5. A linha azul representa o ciclo anual das séries observadas das estações meteorológicas selecionadas (1961-2005), a linha azul tracejada representa a série do *Worldclim* (1970-2000), a linha verde representa o modelo Eta-MIROC5 para o período baseline (1961-2005) e a linha vermelha representa o modelo após a correção de viés (1961-2005). O eixo da direita se refere ao erro médio absoluto (MAE) do modelo antes e após a correção de viés. .... 16
- Figura 5** Análise das correções da temperatura mínima (°C) do modelo Eta-MIROC5. A linha azul representa o ciclo anual das séries observadas das estações meteorológicas selecionadas (1961-2005), a linha azul tracejada representa a série do *Worldclim* (1970-2000), a linha verde representa o modelo Eta-MIROC5 para o período baseline (1961-2005) e a linha vermelha representa

o modelo após a correção de viés (1961-2005). O eixo da direita se refere ao erro médio absoluto (MAE) do modelo antes e após a correção de viés. .... 17

**Figura 6** Índice PRCPTOT. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099..... 21

**Figura 7** Índice CDD. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099..... 22

**Figura 8** Índice CWD. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099..... 23

**Figura 9** Índice R10mm. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099..... 24

**Figura 10** Índice R20mm. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099..... 25

**Figura 11** Índice R25mm. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099..... 26

**Figura 12** Índice RX1day. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-2005) e as demais indicam as diferenças



entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099..... 27

**Figura 13** Índice RX5day. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099..... 28

**Figura 14** Índice R95p. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099..... 29

**Figura 15** Índice R99p. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099..... 30

**Figura 16** Índice SDII. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099..... 31

**Figura 17** Índice TXx. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099..... 32

**Figura 18** Índice TNn. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099..... 33

**Figura 19** Índice TX10p. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099..... 34

**Figura 20** Índice TX90p. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099..... 35

**Figura 21** Índice TN10p. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099..... 36

**Figura 22** Índice TN90p. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099..... 37

**Figura 23** Índice TR. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099..... 38

**Figura 24** Índice TNx. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099..... 39

**Figura 25** Índice TXn. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da



esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099..... 40

**Figura 26** Índice DTR. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099..... 41

**Figura 27** Índice WSDI. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099..... 42

**Figura 28** Índice CSDI. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099..... 43

**Figura 29** Índice SU25. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099..... 44

**Figura 30** Índice FD. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099..... 45

**Figura 31** Índice ID. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099..... 46

## Lista de Tabelas

**Tabela 1** Estações meteorológicas selecionadas ao longo do território brasileiro.

Fonte: INMET (<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>). 13

**Tabela 2** Índices de extremos climáticos para a estação meteorológica de São Paulo (1961-2005), calculados a partir dos dados observados e simulados pelo Modelo Eta-MIROC5 20 km com valores sem correção de viés (Eta) e com correção de viés (EtaCor). Os índices estatísticos BIAS, MAE e SS referem-se, respectivamente, o erro médio, erro médio absoluto e o índice Skill Score (%). 18

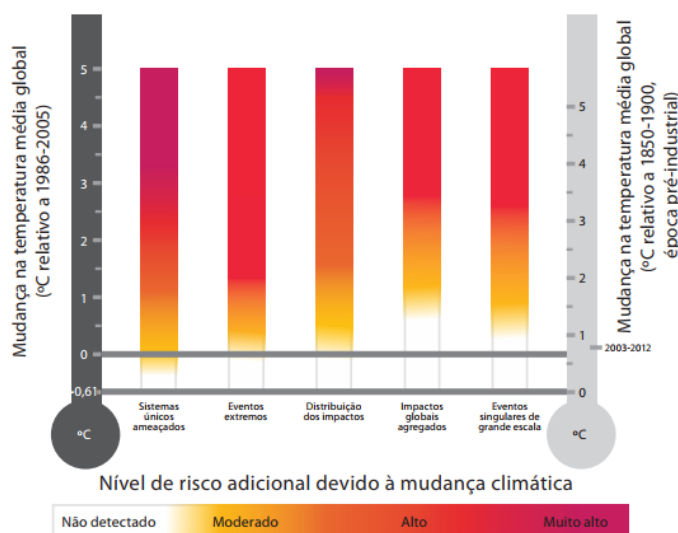
**Tabela 3** Lista de conjunto de dados..... 20

## 1.0 Introdução

Nos últimos anos, a variabilidade do clima e dos eventos extremos tem afetado fortemente o Brasil. Alguns estudos identificaram um grande aumento na frequência e intensidade dos eventos de precipitação intensa, desde os anos de 1950, além de aumento da frequência de seca (Groisman et al., 2005; Zeng et al., 2008; Marengo et al., 2010; Marengo et al., 2013; Espinoza et al., 2014). Dias e noites frias, além de eventos de geadas têm se tornado cada vez menos frequentes, enquanto dias quentes, noites quentes, e ondas de calor têm aumentado a frequência de ocorrências (Marengo et al. 2010). Tais eventos produzem severos impactos socioeconômicos nas atividades humanas tais como na agricultura, infraestrutura e gerenciamento de recursos hídricos e energia.

Vale conceituar que os “eventos extremos” são aqueles que se distanciam das condições habituais de uma série histórica e que conseqüentemente geram interesse e preocupação na sociedade, devido ao potencial que apresentam em desestruturar o ambiente físico e as atividades de determinado lugar ou região, causando prejuízos às comunidades afetadas e ao poder público. Espera-se que as mudanças climáticas modifiquem a frequência, intensidade e duração dos eventos extremos em muitas regiões. De acordo com o último relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC AR5 – *Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*) as evidências já são de moderadas (alta confiança) a alta que 1°C adicional na temperatura global contribua para o aumento dos riscos relacionados aos eventos climáticos extremos, tais como ondas de calor, precipitação extrema e inundações costeiras (IPCC, 2014), vide Figura 1. Além do aumento dos riscos dos eventos extremos, aumenta também o risco de eventos singulares de grande escala, ou seja, eventos ainda não experimentados (Figura 1). A menção a eventos extremos denota tanto eventos chuvosos e secos, como quentes e frios. Isto é, uma variabilidade maior do que a conhecida nos dias atuais com eventos adversos ocorrendo sucessivamente. Essa perspectiva assinala a necessidade de um planejamento e adequação das infraestruturas, principalmente aquelas associadas aos recursos hídricos (Dias, 2014).





**Figura 1** Níveis de risco associados às mudanças climáticas. IPCC AR5 – *Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Fonte: adaptado de IPCC (2014) e Dias (2014).

Sendo assim, o uso e aplicação de projeções de modelos climáticos, com intuito de entender as mudanças na probabilidade dos extremos sob diferentes cenários de mudanças climáticas, podem contribuir para dar suporte ao planejamento em diversos setores socioeconômicos/ambientais. Projeções climáticas regionalizadas dos cenários de concentração dos gases do efeito estufa e suas forçantes radiativas no clima – IPCC AR5 - foram realizadas por Chou et. al (2014a e 2014b) através do modelo Eta. Essas projeções foram utilizadas para elaborar a Terceira Comunicação Nacional do Brasil (MCTI, 2016) e têm sido usadas para apoiar diversos estudos de impactos. Portanto, as estimativas dos extremos climáticos com correção de viés podem contribuir para estudos de impactos e planejamento em setores chave do Brasil.

## 1.1 Objetivo

Cumprir o primeiro produto do Projeto CSI – Ampliação dos Serviços Climáticos em investimentos de Infraestruturas /PN: 16.9025.4-003.00, termo de referência: Geração de informações, a partir dos dados de projeções de mudanças climáticas, para subsidiar estudos em planejamento de investimentos para infraestruturas. O produto consiste de um Relatório contendo o cálculo dos indicadores de extremos climáticos a partir das

variáveis de temperatura e chuva com correção de viés utilizando o modelo Eta20 km-MIROC5, baseline, RCP4.5 e RCP8.5.

## 2.0 Dados e Metodologia

Além da metodologia e as equações utilizadas para cálculos dos índices de extremos climáticos, são apresentadas também a seguir uma breve descrição do modelo Eta-MIROC5 e o método usado para correção de viés.

### 2.1 Modelo Eta-MIROC5

O modelo atmosférico Eta é da categoria de modelos chamados de regionais ou de área limitada e que, portanto, necessitam de modelos globais para lhe fornecer informações da atmosfera nos contornos laterais. O Eta possui representação complexa dos processos físicos e dinâmicos da atmosfera, incluindo explicitamente os processos de mesoescala. Esse modelo foi desenvolvido pela Universidade de Belgrado em conjunto com o Instituto de Hidrometeorologia da Iugoslávia (Mesinger et al., 1988; Black, 1994). A partir de 1996, tornou-se operacional no Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE) com a finalidade de complementar a previsão numérica de tempo realizada com o modelo de circulação geral da atmosfera do CPTEC (Chou, 1996). Uma particularidade do modelo é que dá nome ao próprio constitui-se da utilização da coordenada vertical eta ( $\eta$ ), considerada mais adequada para simulações em regiões de topografia complexa, tais como região dos Andes e as áreas serranas brasileiras.

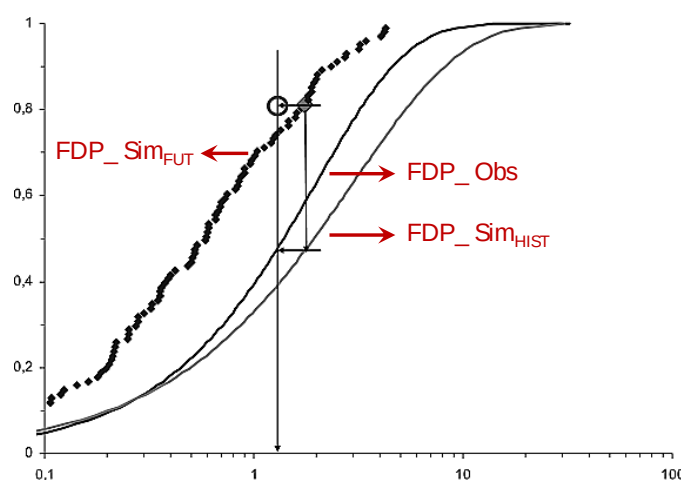
Ajustes iniciais no modelo Eta para gerar projeções dos cenários de mudanças climáticas sobre o Brasil foram realizadas por Pesquero et al. (2009), Chou et al. (2012) e Marengo et al. (2012). As últimas integrações multidecenais do clima futuro (cenários IPCC AR5) com o Eta foram realizadas por Chou et al. (2014a, 2014b) e Lyra et al. (2017). Chou et al. (2014a, 2014b) realizaram integrações na grade horizontal regular de 20 km x 20 km, a partir do aninhamento do Eta em três modelos climáticos globais do CMIP5 (*Coupled Model Intercomparison Project Phase 5*), enquanto que Lyra et al. (2017) realizaram integrações na grade regular de 5 km X 5 km a partir do segundo aninhamento do modelo. As simulações apresentaram boa destreza na representação do clima presente da América do Sul e as integrações em

mais alta resolução favorecem uma melhor representação dos extremos de chuva e temperatura na região sudeste do Brasil. Estas simulações e projeções do clima futuro foram utilizadas na Terceira Comunicação Brasileira da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (MCTI 2016) e têm sido usadas para dar suporte em diversos estudos de impactos tais como em Tavares et al. (2017) e Viola et al. (2014). A versão do modelo utilizado na realização deste produto consiste do Eta aninhado ao modelo climático global MIROC5 na resolução horizontal de 20 km, chamado a partir de agora como Eta-MIROC5. O modelo MIROC5 (*Model for Interdisciplinary Research, versão 5*) é composto pelos modelos atmosférico de circulação global da atmosfera (CCSR-NIES-Frontier Research Center for Global Change – Numaguti et al., 1997), modelo oceânico CCSR Ocean Component Model (COCO; Hasumi, 2006) que inclui um modelo de gelo oceânico global, e um modelo de superfície que possui um módulo de rios acoplado. O MIROC5 (Watanabe et al., 2010) é uma versão melhorada do modelo MIROC3.2 utilizado no IPCC AR4 (2007). Os núcleos dinâmicos do modelo atmosférico e os esquemas de parametrização de radiação, convecção, cumulus, turbulência e aerossóis foram atualizados na versão MIROC5. Nos modelos oceânicos e de superfície continental do MIROC5, a componente do gelo marinho foi melhorada e uma avançada versão do modelo de rios (Oki e Sud, 1998) foi incorporada. Uma descrição mais detalhada do modelo MIROC5 pode ser obtida em Watanabe et al. (2010). Detalhamentos do Eta-MIROC5 podem ser encontrados em Chou et al. (2014a, 2014b). As integrações do clima futuro realizadas com este modelo são baseadas nos caminhos representativos de concentração dos Gases do Efeito Estufa (GEE) e suas forçantes radiativas no clima, nomeados de *Representative Concentration Pathway* (RCP) (Moss et al. 2010). Foi considerado um cenário de concentração intermediária (RCP4.5) e um de alta concentração (RCP8.5), semelhantes aos cenários anteriores B1 e A1FI (IPCC, 2007), ambos utilizados na realização deste produto.

## 2.2 Correção de viés

No cálculo dos índices de extremos climáticos são usados valores diários das variáveis de temperatura máxima e mínima do ar (°C) e precipitação (mm). A precipitação foi disponibilizada pelo grupo do modelo Eta já com

método de correção de viés aplicado. O método utilizado na correção dessa variável foi da transformação quantil-quantil (*Quantile-Quantile*) proposto por Bárdossy e Pegram (2011). Esse método é baseado em funções de distribuição de probabilidades cumulativas (FDP's), comparando curvas de probabilidade acumulada da variável observada e da variável simulada por um modelo climático no clima presente e nas projeções do clima futuro. As FDP's são calculadas em escala mensal para cada ponto de grade do modelo. A Figura 2 ilustra o esquema utilizado no método de Bárdossy e Pegram (2011).



**Figura 2** Método de correção de viés Quantil-Quantil proposto por Bárdossy e Pegram (2011). Esquematização da transformação quantil-quantil duplamente relacionado a uma função de distribuição de probabilidade cumulativa (FDP) do dado simulado por um modelo climático a uma FDP de um dado observado para um período de referência. Os eixos verticais mostram as FDP's e os eixos horizontais são em milímetros. O ponto futuro do modelo (FDP\_SimFUT) é deslocado no mesmo nível em comparação a FDP simulada no período histórico (FDP\_SimHIST) e a FDP observada num período de referência (FDP\_Obs), processo esse que preserva a classificação no valor deslocado. Fonte: Adaptado de Bárdossy e Pegram (2011).

O banco de dados observado usado para a correção foi formado por dados de estações meteorológicas (automáticas e convencionais) e agrometeorológicas disponibilizados por alguns institutos, agências ou empresas, tais como o INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), Cargill, etc. Estes dados foram espacializados e interpolados na grade horizontal do modelo Eta.



Para as variáveis de temperatura máxima e mínima foi necessário realizar a correção e a metodologia empregada para a correção de viés foi a do escalonamento linear (*Linear Scaling*), apresentada por Lenderink et al. (2007). Essa metodologia se baseia na estimativa de um coeficiente de correção a partir das diferenças entre as normais climatológicas observadas e simuladas pelos modelos climáticos no clima presente. Esse mesmo coeficiente é posteriormente utilizado na remoção dos erros sistemáticos nas projeções do clima futuro. As equações que descrevem o método de correção seguem abaixo.

$$T_{Hij}^c = T_{Hij}^{nc} + (\overline{T_{oj}} - \overline{T_{Hj}}) \quad \text{Eq.1}$$

$$T_{Fij}^c = T_{Fij}^{nc} + (\overline{T_{oj}} - \overline{T_{Hj}}) \quad \text{Eq. 2}$$

Onde,  $T_{ij}^{nc}$  é a variável a ser corrigida no dia i e mês j. Esta variável é transformada em  $T_{ij}^c$  através das Equações 1 e 2. As subscritções H e F referem-se aos períodos baseline e futuro, respectivamente, simulados pelo modelo.  $\overline{T_o}$  é o valor climatológico da variável observada e  $\overline{T_H}$  é o valor climatológico da variável simulada, enquanto i e j fazem referência ao dia e mês. A base de dados utilizada para correção das temperaturas é proveniente do *WordClim - Global Climate Data* (1970-2000) (Hijmans et al., 2005) disponibilizados em valores climatológicos mensais na resolução espacial de aproximadamente 1 km. Foi adotada a base de dados do WordClim devido à falta de outra base disponível com dados de temperatura máxima e mínima espacializados em resolução espacial mais refinada.

### 2.3 Extremos Climáticos

Os índices de extremos climáticos foram calculados seguindo a metodologia desenvolvida pelo grupo de pesquisadores de detecção de mudanças climáticas do *Climate Variability and Predictability* (CCI/CLIVAR), através do pacote *ClimDex* (Alexander et. al., 2005). No cômputo desses índices são realizadas análises estatísticas dos valores diários de precipitação (mm) e da temperatura máxima e mínima do ar (°C) (Alexander et al, 2005;

Zhang et. al., 2005; Zhang e Yang, 2004; Hyndman e Fan, 1996). O pacote *ClimDex* inclui o *RclimDex*, o qual permite calcular o índice por ponto de estação (usa o software estatístico R) e o *FclimDex* que realiza cálculos a partir da matriz do modelo (Zhang e Yang, 2004). Foram utilizados os dois pacotes, o primeiro foi utilizado para realizar os cálculos a partir das saídas do modelo Eta, com valores corrigidos e sem correção de viés, e o segundo foi usado para realizar os cálculos a partir de dados observados de estações meteorológicas, com intuito de avaliar a destreza do modelo na representação dos extremos após a correção dos erros sistemáticos. Foram calculados 26 índices de extremos climáticos, os quais são detalhados a seguir.

### 2.3.1 Índices de Extremos de Precipitação

**a) RX1day:** Máxima precipitação anual em 1 dia (mm)

Sendo  $RR_{ij}$  a quantidade de precipitação diária no dia  $i$  e no período  $j$ . O máximo valor de precipitação num dia  $i$  para o período  $j$  é:

$$RX1day = \max (RR_{ij}) \quad \text{Eq.3}$$

**b) RX5day:** Máxima precipitação anual em 5 dias consecutivos (mm)

Sendo  $RR_{ij}$  a quantidade de precipitação no intervalo de cinco dias, terminando em  $k$ , no período  $j$ . O máximo valor de precipitação em 5 dias para o período  $j$  é:

$$RX5day = \max (RR_{ij}) \quad \text{Eq.4}$$

**c) SDII:** Intensidade média da precipitação durante o ano (mm/dia)

Seja  $RR_{wj}$  a quantidade de precipitação diária nos dias úmidos  $w$  ( $RR_{wj} \geq 1$  mm) no período  $j$ . Se  $W$  representa o número de dias úmidos em  $j$ , então:

$$SDII_j = \frac{\sum_{w=1}^W RR_{wj}}{W} \quad \text{Eq.5}$$

**d) R10mm:** Quantidade de dias no ano com precipitação acima de 10 mm (dias)

Seja  $RR_{ij}$  a quantidade de precipitação diária no dia  $i$ , no período  $j$ .  
Contabiliza-se o número de dias onde:

$$RR_{ij} \geq 10mm \quad \text{Eq.6}$$

**a) R20mm:** Quantidade de dias no ano com precipitação acima de 20 mm (dias)

Seja  $RR_{ij}$  a quantidade de precipitação diária no dia  $i$ , no período  $j$ .  
Contabiliza-se o número de dias onde:

$$RR_{ij} \geq 20mm \quad \text{Eq.7}$$

**e) R25mm:** Quantidade de dias no ano com precipitação acima de 25 mm (dias)

Seja  $RR_{ij}$  a quantidade de precipitação diária no dia  $i$ , no período  $j$ .  
Contabiliza-se o número de dias onde:

$$RR_{ij} \geq 25mm \quad \text{Eq.8}$$

**b) CDD (Consecutive Dry Days):** Dias consecutivos secos (dias)

Número máximo de dias consecutivos com  $RR < 1mm$ . Temos  $RR_{ij}$  como a quantidade de precipitação diária no dia  $i$  e no período  $j$ . Contabiliza-se o número maior de dias consecutivos onde:

$$RR_{ij} < 1mm \quad \text{Eq.9}$$

**c) CWD (Consecutive Wet Days):** Dias consecutivos úmidos (dias)

Número máximo de dias consecutivos com  $RR \geq 1mm$ . Temos  $RR_{ij}$  como a quantidade de precipitação diária no dia  $i$  e no período  $j$ . Contabiliza-se o maior número de dias consecutivos onde:

$$RR_{ij} \geq 1mm \quad \text{Eq.10}$$

**d) R95p:** Precipitação de intensidade moderada a extrema (mm)

Total anual de precipitação onde  $RR > 95p$ . Seja  $RR_{wj}$  a quantidade de precipitação diária no dia úmido  $w$  ( $RR \geq 1.00mm$ ) no período  $i$ , e temos  $RR_{wn}95$  como o 95th percentil de precipitação sobre os dias úmidos no período de 1961-2005. Se  $W$  representa o número de dias úmidos no período então:

$$R95p_j = \sum_{w=1}^W R_{wj}, \text{ onde } RR_{wj} > RR_{wn}95 \quad \text{Eq.11}$$

**e) R99p:** Precipitação de intensidade muito extrema (mm)

Total anual de precipitação onde  $RR > 99p$ . Seja  $RR_{wj}$  a quantidade de precipitação diária no dia úmido  $w$  ( $RR \geq 1 \text{ mm}$ ) no período  $i$ , e temos  $RR_{wn}99$  como o 99th percentil de precipitação sobre os dias úmidos no período de 1961-1990. Se  $W$  representa o número de dias úmidos no período então temos:

$$R99p_j = \sum_{w=1}^W R_{wj}, \text{ onde } RR_{wj} > RR_{wn}99 \quad \text{Eq.12}$$

**f) PRCPTOT:** Precipitação total anual (mm)

Temos  $RR_{ij}$  como a quantidade da precipitação diária para o dia  $i$  no período  $j$ . Se  $I$  representa o número de dias em  $j$ , então temos:

$$PRCPTOT_j = \sum_{i=1}^I R_{ij} \quad \text{Eq.13}$$

### 2.3.2 Índices de Extremos de Temperatura

**a) FD (Frost Day):** Dias com Geadas (dias)

Número de dias onde a temperatura mínima diária é menor a  $0^\circ\text{C}$ . Seja  $Tn_{ij}$  a temperatura mínima diária no dia  $i$  e no período  $j$ . Contabiliza-se o número de dias que:

$$Tn_{ij} < 0^\circ\text{C} \quad \text{Eq.14}$$

**b) SU25 (Summer Days):** Dias de Verão (dias)



Número de dias onde a temperatura máxima é maior a 25°C. Seja  $Tx_{ij}$  a temperatura máxima diária no dia  $i$  e no período  $j$ . Contabiliza-se o número de dias que:

$$Tx_{ij} > 25^{\circ}C \quad \text{Eq.15}$$

**c) ID (Ice days):** Dias muito frio (dias)

Número de dias onde a temperatura máxima diária é menor que zero. Seja  $Tx_{ij}$  a temperatura máxima diária no dia  $i$  e no período  $j$ . Contabiliza-se o número de dias que:

$$Tx_{ij} < 0^{\circ}C \quad \text{Eq.16}$$

**d) TR:** Noites Tropicais (dias)

Número de dias onde a temperatura mínima diária é maior a 20°C. Seja  $Tn_{ij}$  a temperatura mínima diária no dia  $i$  e no período  $j$ . Contabiliza-se o número de dias que:

$$Tn_{ij} > 20^{\circ}C \quad \text{Eq.17}$$

**e) TX<sub>x</sub>:** Valor mensal máximo da temperatura máxima diária (°C)

Temos que **TX<sub>x</sub>** será a temperatura máxima diária no mês  $k$ , período  $j$ . A máxima temperatura máxima diária em cada mês é:

$$TXx_{kj} = \max(TXx_{kj}) \quad \text{Eq.18}$$

**f) TN<sub>x</sub>:** Valor mensal máximo da temperatura mínima diária (°C)

Temos que **TN<sub>x</sub>** será a temperatura mínima diária no mês  $k$ , período  $j$ . A máxima temperatura mínima diária em cada mês é:

$$TNx_{kj} = \max(TNx_{kj}) \quad \text{Eq.19}$$

**g) TX<sub>n</sub>:** Valor mensal mínimo da temperatura máxima diária (°C)

Temos que  $TX_n$  será a temperatura máxima diária no mês  $k$ , período  $j$ . A mínima temperatura máxima diária em cada mês é:

$$TXn_{kj} = \max(TXn_{kj}) \quad \text{Eq.20}$$

**h)  $TN_n$ :** Valor mensal mínimo da temperatura mínima diária (°C)

Temos que  $TN_n$  será a temperatura mínima diária no mês  $k$ , período  $j$ . A mínima temperatura mínima diária em cada mês é:

$$TNn_{kj} = \max(TNn_{kj}) \quad \text{Eq.21}$$

**i)  $TN10p$ :** Número de dias no ano em que a temperatura mínima está abaixo do 10° percentil da distribuição de temperatura diária (noites frias) (%).

Seja  $Tn_{ij}$  a temperatura mínima diária no dia  $i$  no período  $j$  e seja  $TN_{in}10$  o dia calendário do percentil 10<sup>th</sup> centrado na janela de 5 dias para o período base 1961-2005. A percentagem do tempo para o período base é determinada por:

$$TN_{ij} < TN_{in}10 \quad \text{Eq.22}$$

**j)  $TX10p$ :** Número de dias no ano em que a temperatura máxima está abaixo do 10° percentil da distribuição de temperatura diária (dias frios) (%)

Seja  $TX_{ij}$  a temperatura máxima diária no dia  $i$  no período  $j$  y seja  $TX_{in}10$  o dia calendário do percentil 10<sup>th</sup> centrado na janela de 5 dias para o período base 1961-2005. A percentagem do tempo para o período base é determinada:

$$TX_{ij} < TX_{in}10 \quad \text{Eq.23}$$

**k)  $TN90p$ :** Número de dias no ano em que a temperatura mínima está acima do 90° percentil da distribuição de temperatura diária (noites quentes) (%).

Seja  $TN_{ij}$  a temperatura mínima diária no dia  $i$  no período  $j$  y seja  $TN_{in90}$  o dia calendário do percentil 90<sup>th</sup> centrado na janela de 5 dias para o período base 1961-2005. A percentagem do tempo para o período base é determinado:

$$Tn_{ij} > Tn_{in90} \quad \text{Eq.24}$$

**l) TX90p:** Número de dias no ano em que a temperatura máxima está acima do 90° percentil da distribuição de temperatura diária (dias quentes) (%).

Seja  $TX_{ij}$  a temperatura máxima diária no dia  $i$  no período  $j$  y seja  $TX_{in90}$  o dia calendário do percentil 90<sup>th</sup> centrado na janela de 5 dias para o período base 1961-2005. A percentagem do tempo para o período base é determinado:

$$Tx_{ij} > Tx_{in90} \quad \text{Eq.25}$$

**m) DTR** (*Daily Temperature Range*): Amplitude anual da temperature diurna (°C)

É a diferença média mensal entre TX e TN. Seja  $Tx_{ij}$  e  $Tn_{ij}$  a temperatura máxima e mínima respectivamente no dia  $i$  e no período  $j$ . Se  $I$  representa o número de dias em  $j$ , então:

$$DTR_j = \frac{\sum_{i=1}^I (Tx_{ij} - Tn_{ij})}{I} \quad \text{Eq.26}$$

**n) CSDI** (*Cold Spell Duration Indicator*): Duração das ondas de frio (dias)

Seja  $Tn_{ij}$  a temperatura mínima diária no dia  $i$  no período  $j$  e seja  $Tn_{in10}$  o dia calendário do percentil 10<sup>th</sup> centrado na janela de 5 dias. Então, o número de dias para o período base é somando em intervalos de 6 dias consecutivos:

$$Tn_{ij} < Tn_{in10} \quad \text{Eq.27}$$

**o) WSDI (Warm Spell Duration Indicator):** Duração ondas de calor (dias)

Seja  $T_{xij}$  a temperatura máxima diária no dia  $i$  no período  $j$  e seja  $T_{x_{in90}}$  o dia calendário do percentil 90<sup>th</sup> centrado na janela de 5 dias. Então, o número de dias para o período base é somando em intervalos de 6 dias consecutivos:

$$T_{xij} > T_{x_{in90}} \quad \text{Eq.28}$$

## 2.4 Metodologia

Foram realizadas análises das variáveis precipitação e temperaturas mínimas e máximas antes e após aplicação da correção de viés para o período baseline (1961-2005). Nesta etapa foram consideradas séries históricas de 5 estações meteorológicas disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), selecionadas com base numa melhor homogeneidade temporal da série disponível e que apresentassem baixa porcentagem de falhas para o período de 1961-2005 (Tabela 1).

| Nº | Município         | Região | Estado | Lat.   | Lon.   | Alt.  |
|----|-------------------|--------|--------|--------|--------|-------|
| 1  | Cáceres           | CO     | MT     | -16,05 | -57,68 | 118,0 |
| 2  | Tefé              | N      | AM     | -3,83  | -64,70 | 47,0  |
| 3  | Bom Jesus da Lapa | NE     | BA     | -13,26 | -43,41 | 439,9 |
| 4  | Curitiba          | S      | PR     | -25,43 | -49,26 | 923,5 |
| 5  | São Paulo         | SE     | SP     | -23,65 | -46,62 | 792,0 |

**Tabela 1** Estações meteorológicas selecionadas ao longo do território brasileiro. Fonte: INMET (<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>).

As séries temporais do modelo foram extraídas para os pontos de grade referente as estações meteorológicas e foram avaliadas através das médias mensais e do erro médio absoluto (MAE). Os extremos climáticos também foram avaliados considerando o campo espacial do erro médio (BIAS) e dos índices calculados para o ponto de grade referente a estação de São Paulo. Além do BIAS, ou seja, o desvio do modelo em relação à observação, indicando assim a tendência em superestimar (valores positivos) ou subestimar

(valores negativos) os valores observados, foram considerados também o erro absoluto médio (MAE) e o índice *Skill Score* (SS). O índice SS fornece o ganho das simulações do modelo com correção de viés em relação às simulações não corrigidas. O BIAS, MAE e o SS, são definidos pelas equações 29, 30 e 31, respectivamente, descritas abaixo.

$$BIAS = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (V_i - V_{obs_i}) \quad \text{Eq.29}$$

$$MAE = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M |V_i - V_{obs_i}| \quad \text{Eq.30}$$

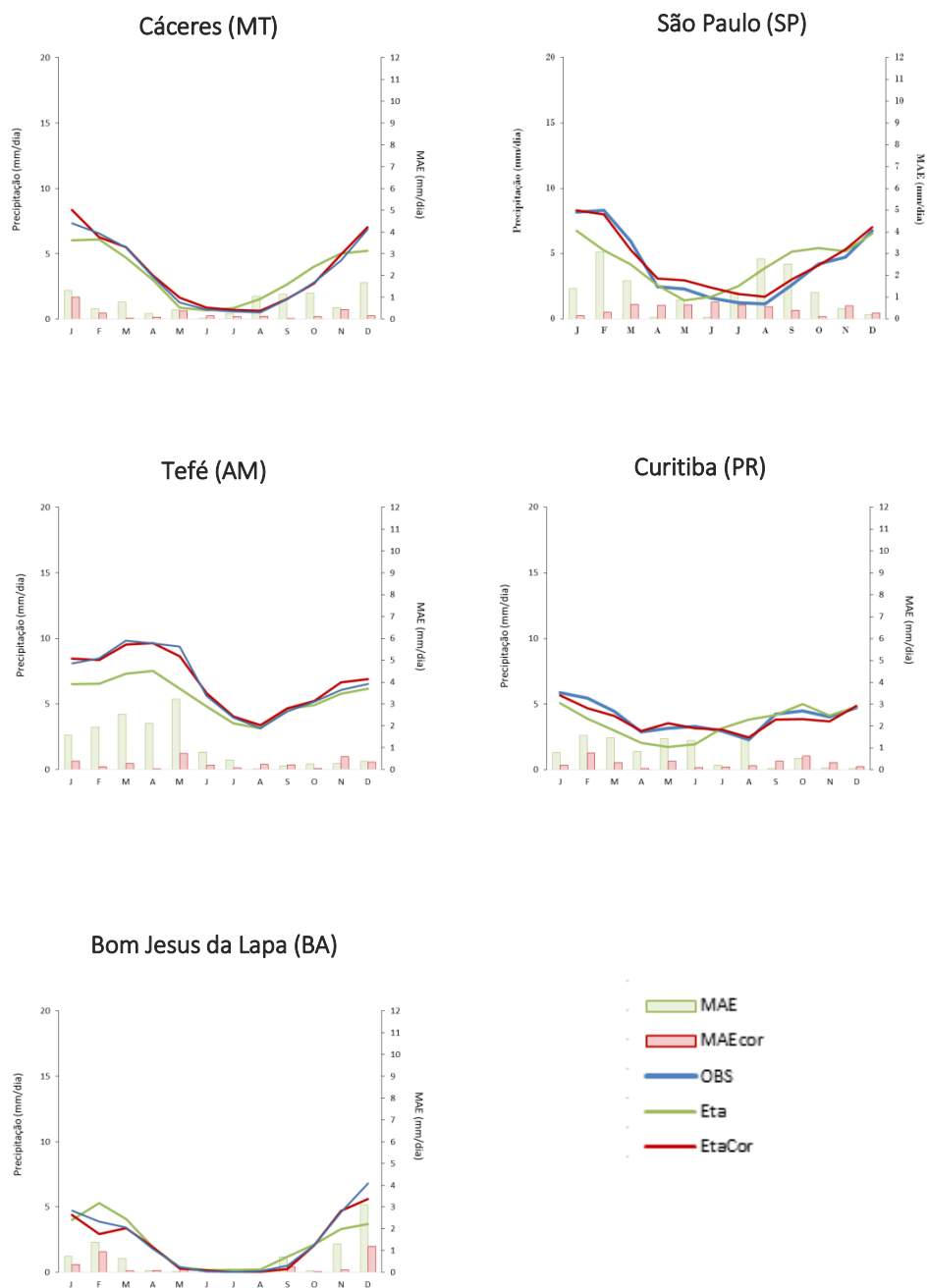
$$SS = \left( \frac{E_{Eta} - E_{EtaCor}}{E_{Eta}} \right) 100 \quad \text{Eq.31}$$

Onde: M é o número total das simulações,  $T_i$  é a i-ésima variável ou índice de extremo simulado,  $V_{obs_i}$  é a i-ésima variável ou índice de extremo observado,  $E_{Eta}$  e  $E_{EtaCor}$  são umas das duas medidas estatísticas de erro para simulações do modelo antes e após a correção de viés, respectivamente.

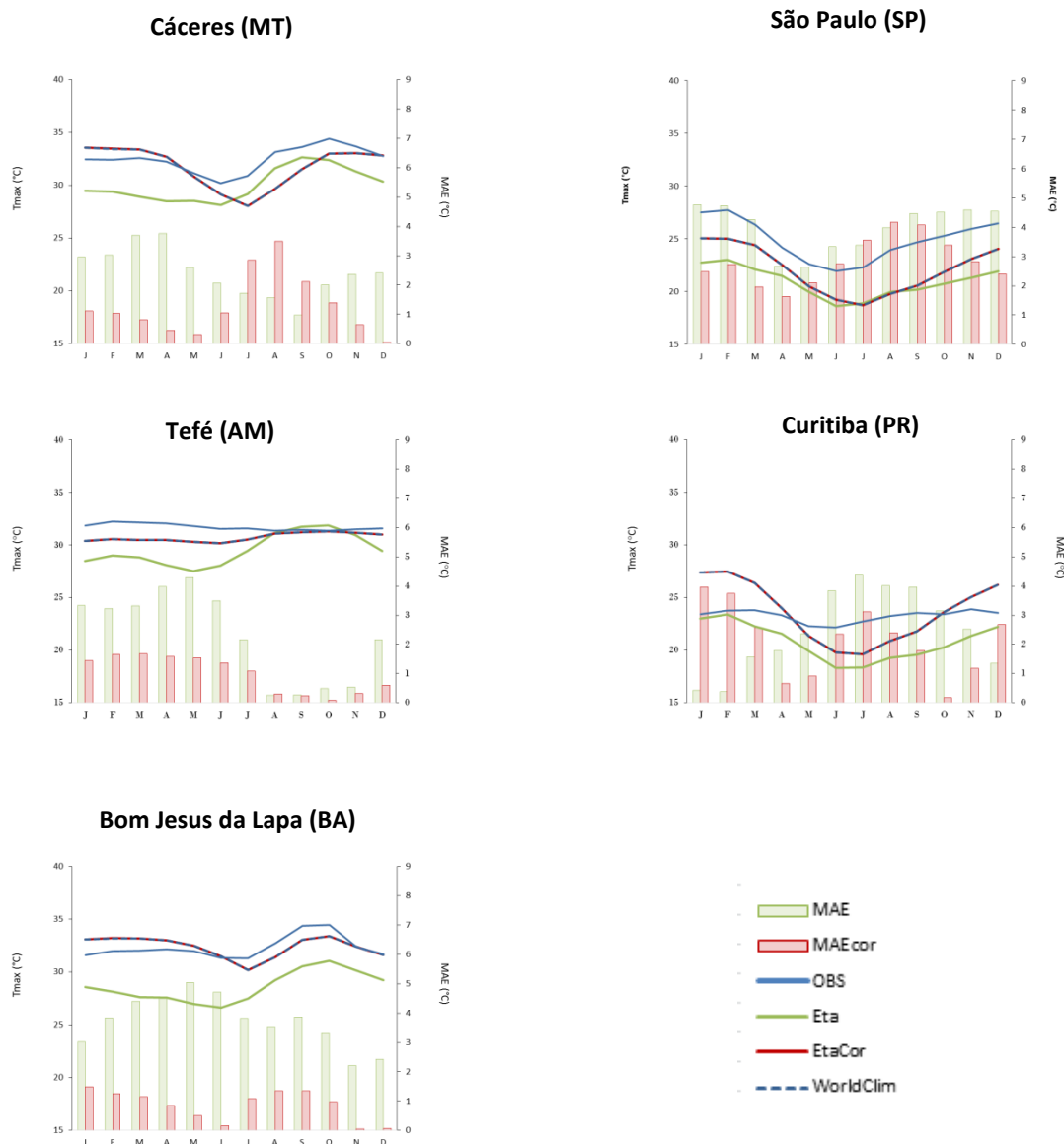
### 3.0 Resultados

Na busca de examinar se houve melhoria na representação do padrão climatológico após a aplicação do método de correção de viés, foram gerados os ciclos anuais das variáveis de precipitação (mm/dia), temperatura máxima e mínima (°C) das estações meteorológicas selecionadas. Em relação à precipitação a correção dos erros sistemáticos contribuiu para uma melhor representação do ciclo anual das chuvas em todas as localidades (Figura 3). Em relação às temperaturas máximas e mínimas (Figuras 4 e 5) verifica-se que após a remoção do viés a sazonalidade do modelo segue exatamente os valores tomados como base para a correção (WordClim), segundo Teutschbein e Seibert(2012), isto valida a correção.

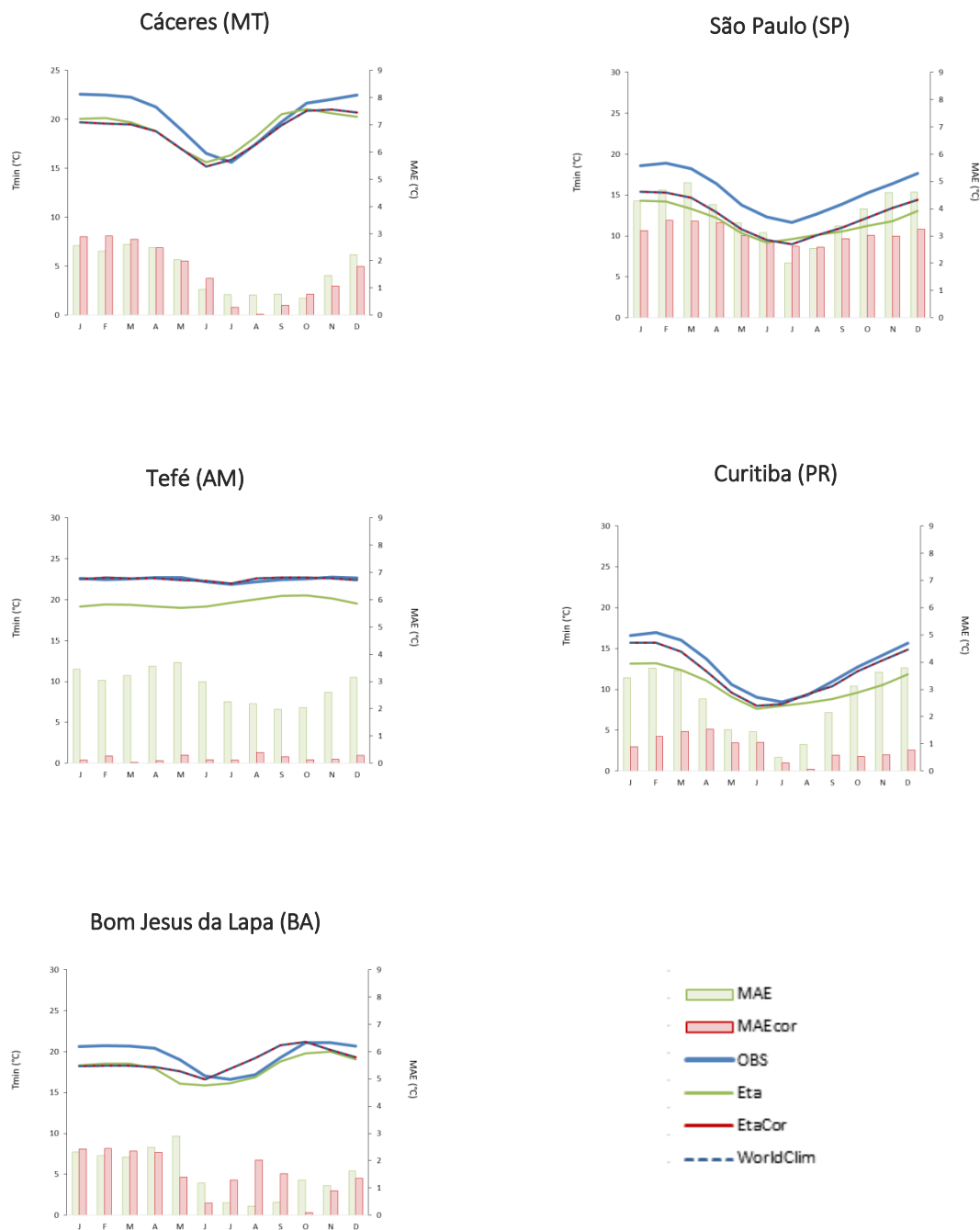




**Figura 3** Análise das correções de precipitação (mm/dia) do modelo Eta-MIROC5. A linha azul representa o ciclo anual das séries observadas das estações meteorológicas selecionadas, a linha verde representa o modelo Eta-MIROC5 para o período baseline e a linha vermelha representa o modelo após a correção de viés. Nessas análises o período considerado foi 1961-2005. O eixo da direita se refere ao erro médio absoluto (MAE) do modelo antes e após a correção de viés.



**Figura 4** Análise das correções da temperatura máxima (°C) do modelo Eta-MIROC5. A linha azul representa o ciclo anual das séries observadas das estações meteorológicas selecionadas (1961-2005), a linha azul tracejada representa a série do *Worldclim* (1970-2000), a linha verde representa o modelo Eta-MIROC5 para o período baseline (1961-2005) e a linha vermelha representa o modelo após a correção de viés (1961-2005). O eixo da direita se refere ao erro médio absoluto (MAE) do modelo antes e após a correção de viés.



**Figura 5** Análise das correções da temperatura mínima (°C) do modelo Eta-MIROC5. A linha azul representa o ciclo anual das séries observadas das estações meteorológicas selecionadas (1961-2005), a linha azul tracejada representa a série do *Worldclim* (1970-2000), a linha verde representa o modelo Eta-MIROC5 para o período baseline (1961-2005) e a linha vermelha representa o modelo após a correção de viés (1961-2005). O eixo da direita se refere ao erro médio absoluto (MAE) do modelo antes e após a correção de viés.

Na Tabela 2, estão apresentados os índices de extremos climáticos da localidade da estação de São Paulo para o período baseline (1961-2005). Essa estação foi selecionada por possuir séries históricas consistentes (mais de 80 anos de dados) e com baixíssima porcentagem de falha ( $\approx 2\%$ ) das variáveis necessárias para o cômputo dos extremos climáticos.

| Índices | Obs    | Eta<br>20km | EtaCor<br>20km | BIAS<br>Eta | BIAS<br>EtaCor | MAE<br>Eta | MAE<br>EtaCor | SS<br>Bias | SS<br>Mae |
|---------|--------|-------------|----------------|-------------|----------------|------------|---------------|------------|-----------|
| TXx     | 34.2   | 29.6        | 32.9           | -17.1       | -4.8           | 17.1       | 5.4           | 72         | 68.5      |
| TNn     | 3.5    | 2.7         | 2.9            | -3.0        | -2.2           | 8.4        | 9.0           | 28.8       | -7.9      |
| TN10p   | 10.2   | 10.2        | 10.3           | 0.1         | 0.5            | 15.3       | 16.2          | -469.6     | -5.9      |
| TX10p   | 10.2   | 10.3        | 10.3           | 0.2         | 0.4            | 13.4       | 11.9          | -135.9     | 11.2      |
| TN90p   | 9.9    | 10.6        | 10.4           | 2.6         | 1.7            | 19.3       | 18.2          | 33.8       | 6.0       |
| TX90p   | 10.1   | 10.5        | 10.4           | 1.7         | 1.2            | 20.4       | 21.3          | 30         | -4.6      |
| WSDI    | 2.6    | 6.7         | 6.2            | 15.2        | 13.6           | 27.5       | 23.9          | 10.4       | 13.0      |
| CSDI    | 2.6    | 2.5         | 2.3            | -0.5        | -1.2           | 16.3       | 11.5          | -133.3     | 29.6      |
| RX1day  | 78.9   | 51.3        | 58.8           | -103.5      | -75.3          | 110.8      | 103.8         | 27.2       | 6.3       |
| RX5day  | 142.9  | 122         | 137.5          | -78.2       | -20.3          | 140.4      | 183.5         | 74.1       | -30.7     |
| R10mm   | 47.6   | 59.7        | 51.0           | 45.2        | 12.6           | 61.2       | 42.6          | 72.1       | 30.4      |
| R25mm   | 16.7   | 11.4        | 13.0           | -19.8       | -14.2          | 23.8       | 22.7          | 28.6       | 4.9       |
| CDD     | 27.2   | 18.5        | 23.2           | -32.8       | -15.2          | 40.4       | 39.3          | 53.7       | 2.7       |
| CWD     | 8.8    | 12          | 11.3           | 11.8        | 9.3            | 16.1       | 13.7          | 20.6       | 15.0      |
| R95p    | 326.8  | 297         | 306.5          | -111.5      | -75.9          | 511.3      | 710.5         | 31.9       | -38.9     |
| R99p    | 96.1   | 83.5        | 87.0           | -47.3       | -34.2          | 283.6      | 386.5         | 27.6       | -36.3     |
| PRCPTOT | 1438.7 | 1580.8      | 1473.5         | 532.8       | 130.5          | 1210.7     | 1144.4        | 75.5       | 5.5       |

**Tabela 2** Índices de extremos climáticos para a estação meteorológica de São Paulo (1961-2005), calculados a partir dos dados observados e simulados pelo Modelo Eta-MIROC5 20 km com valores sem correção de viés (Eta) e com correção de viés (EtaCor). Os índices estatísticos BIAS, MAE e SS referem-se, respectivamente, o erro médio, erro médio absoluto e o índice Skill Score (%).

#### 4.0 Produtos disponibilizados

Estão listados na Tabela 3 os conjuntos de dados calculados e processados por esta consultoria referente ao primeiro produto. São apresentados apenas os produtos finais gerados, que consistem os índices de extremos climáticos calculados a partir da simulação do clima presente e projeções do modelo Eta-MIROC5 na resolução de 20 km aplicando os métodos para correção de viés. As projeções dos índices extremos climáticos para os cenários RCP4.5 e RCP8.5 são apresentadas através dos campos de diferença em relação ao clima presente (Figuras 6 a 31).

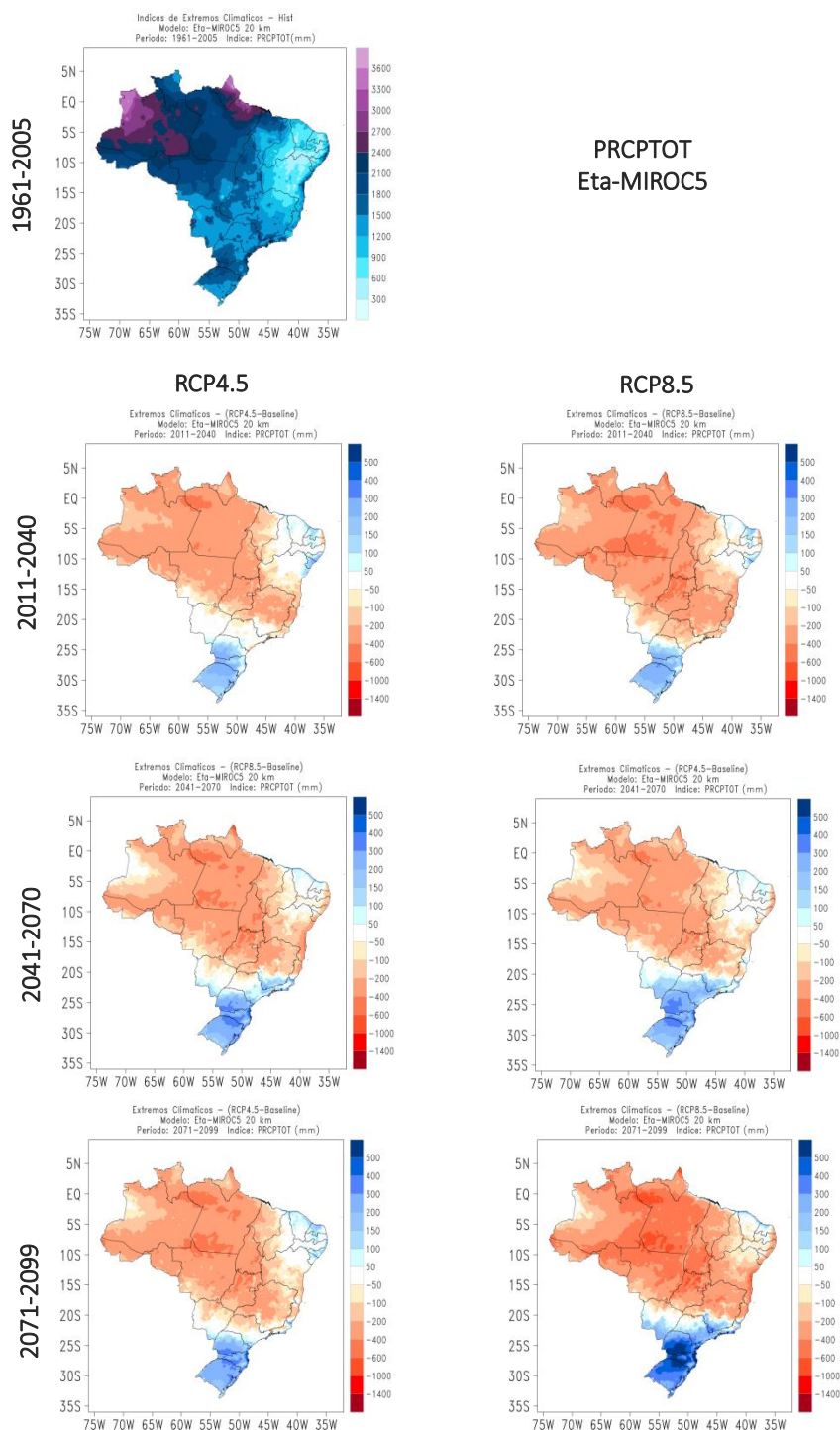
| Conjunto de dados | Área de abrangência e ano                                                                         | Unidade | Descrição                                                                                              |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Índice CDD        | Brasil:<br>- Historical - 1961 a 2005<br>- RCP4.5 – 2006 a 2099<br>- RCP8.5 – 2006 a 2099         | Dias    | Número de dias consecutivos secos calculados a partir da precipitação.                                 |
| Índice CSDI       | América do Sul:<br>- Historical - 1961 a 2005<br>- RCP4.5 – 2006 a 2099<br>- RCP8.5 – 2006 a 2099 | Dias    | Duração das ondas de frio calculada a partir da temperatura mínima.                                    |
| Índice CWD        | Brasil:<br>- Historical - 1961 a 2005<br>- RCP4.5 – 2006 a 2099<br>- RCP8.5 – 2006 a 2099         | Dias    | Número de dias consecutivos úmidos calculados a partir da precipitação.                                |
| Índice DTR        | América do Sul:<br>- Historical - 1961 a 2005<br>- RCP4.5 – 2006 a 2099<br>- RCP8.5 – 2006 a 2099 | °C      | Amplitude anual média da temperatura diurna calculada a partir da temperatura máxima e mínima.         |
| Índice FD         | América do Sul:<br>- Historical - 1961 a 2005<br>- RCP4.5 – 2006 a 2099<br>- RCP8.5 – 2006 a 2099 | Dias    | Número de dias com geadas calculado a partir da temperatura mínima.                                    |
| Índice ID         | América do Sul:<br>- Historical - 1961 a 2005<br>- RCP4.5 – 2006 a 2099<br>- RCP8.5 – 2006 a 2099 | Dias    | Número de dias muito frio calculado a partir da temperatura máxima.                                    |
| Índice PRCPTOT    | Brasil:<br>- Historical - 1961 a 2005<br>- RCP4.5 – 2006 a 2099<br>- RCP8.5 – 2006 a 2099         | mm      | Precipitação total anual calculado a partir da precipitação.                                           |
| Índice R10mm      | Brasil:<br>- Historical - 1961 a 2005<br>- RCP4.5 – 2006 a 2099<br>- RCP8.5 – 2006 a 2099         | Dias    | Número de dias no ano com chuva acima de 10 mm calculado a partir da precipitação.                     |
| Índice R20mm      | Brasil:<br>- Historical - 1961 a 2005<br>- RCP4.5 – 2006 a 2099<br>- RCP8.5 – 2006 a 2099         | Dias    | Número de dias no ano com chuva acima de 20 mm calculado a partir da precipitação.                     |
| Índice R25mm      | Brasil:<br>- Historical - 1961 a 2005<br>- RCP4.5 – 2006 a 2099<br>- RCP8.5 – 2006 a 2099         | Dias    | Número de dias no ano com chuva acima de 25 mm calculado a partir da precipitação.                     |
| Índice R95p       | Brasil:<br>- Historical - 1961 a 2005<br>- RCP4.5 – 2006 a 2099<br>- RCP8.5 – 2006 a 2099         | mm      | Precipitação de intensidade moderada a extrema calculada a partir da precipitação com correção de viés |
| Índice R99p       | Brasil:<br>- Historical - 1961 a 2005<br>- RCP4.5 – 2006 a 2099<br>- RCP8.5 – 2006 a 2099         | mm      | Precipitação de intensidade muito extrema calculada a partir da precipitação.                          |
| Índice RX1day     | Brasil:<br>- Historical - 1961 a 2005<br>- RCP4.5 – 2006 a 2099<br>- RCP8.5 – 2006 a 2099         | mm      | Máxima precipitação anual em 1 dia calculada a partir da precipitação.                                 |
| Índice RX5day     | Brasil:<br>- Historical - 1961 a 2005<br>- RCP4.5 – 2006 a 2099<br>- RCP8.5 – 2006 a 2099         | mm      | Máxima precipitação anual em 5 dias consecutivos calculada a partir da precipitação.                   |
| Índice SDII       | Brasil:<br>- Historical - 1961 a 2005<br>- RCP4.5 – 2006 a 2099<br>- RCP8.5 – 2006 a 2099         | mm/dia  | Intensidade média da precipitação anual calculada a partir da precipitação.                            |
| Índice SU25       | Brasil:<br>- Historical - 1961 a 2005<br>- RCP4.5 – 2006 a 2099<br>- RCP8.5 – 2006 a 2099         | Dias    | Dias de verão calculados a partir da temperatura máxima.                                               |
| Conjunto de dados | Área de abrangência e ano                                                                         | Unidade | Descrição                                                                                              |
| Índice TN10p      | América do Sul:<br>- Historical - 1961 a 2005<br>- RCP4.5 – 2006 a 2099<br>- RCP8.5 – 2006 a 2099 | %       | Porcentagem anual de noites frias calculada a partir da temperatura mínima.                            |
| Índice TN90p      | América do Sul:<br>- Historical - 1961 a 2005<br>- RCP4.5 – 2006 a 2099                           | %       | Porcentagem anual de noites quentes calculada a partir da temperatura mínima.                          |

|              |                                                                                                   |      |                                                                             |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-----------------------------------------------------------------------------|
|              | - RCP8.5 – 2006 a 2099                                                                            |      |                                                                             |
| Índice TNn   | América do Sul:<br>- Historical - 1961 a 2005<br>- RCP4.5 – 2006 a 2099<br>- RCP8.5 – 2006 a 2099 | °C   | Menor temperatura mínima anual calculada a partir da temperatura mínima     |
| Índice TNx   | América do Sul:<br>- Historical - 1961 a 2005<br>- RCP4.5 – 2006 a 2099<br>- RCP8.5 – 2006 a 2099 | °C   | Maior temperatura mínima anual calculada a partir da temperatura mínima     |
| Índice TR    | América do Sul:<br>- Historical - 1961 a 2005<br>- RCP4.5 – 2006 a 2099<br>- RCP8.5 – 2006 a 2099 | Dias | Noites Tropicais calculadas a partir da temperatura mínima.                 |
| Índice TX10p | América do Sul:<br>- Historical - 1961 a 2005<br>- RCP4.5 – 2006 a 2099<br>- RCP8.5 – 2006 a 2099 | %    | Porcentagem anual de dias frios calculada a partir da temperatura máxima.   |
| Índice TX90p | América do Sul:<br>- Historical - 1961 a 2005<br>- RCP4.5 – 2006 a 2099<br>- RCP8.5 – 2006 a 2099 | %    | Porcentagem anual de dias quentes calculada a partir da temperatura máxima. |
| Índice TXn   | América do Sul:<br>- Historical - 1961 a 2005<br>- RCP4.5 – 2006 a 2099<br>- RCP8.5 – 2006 a 2099 | °C   | Menor temperatura máxima anual calculada a partir da temperatura máxima.    |
| Índice TXx   | América do Sul:<br>- Historical - 1961 a 2005<br>- RCP4.5 – 2006 a 2099<br>- RCP8.5 – 2006 a 2099 | °C   | Maior temperatura máxima anual calculada a partir da temperatura máxima.    |
| Índice WSDI  | América do Sul:<br>- Historical - 1961 a 2005<br>- RCP4.5 – 2006 a 2099<br>- RCP8.5 – 2006 a 2099 | °C   | Duração das ondas de calor calculada a partir da temperatura máxima.        |

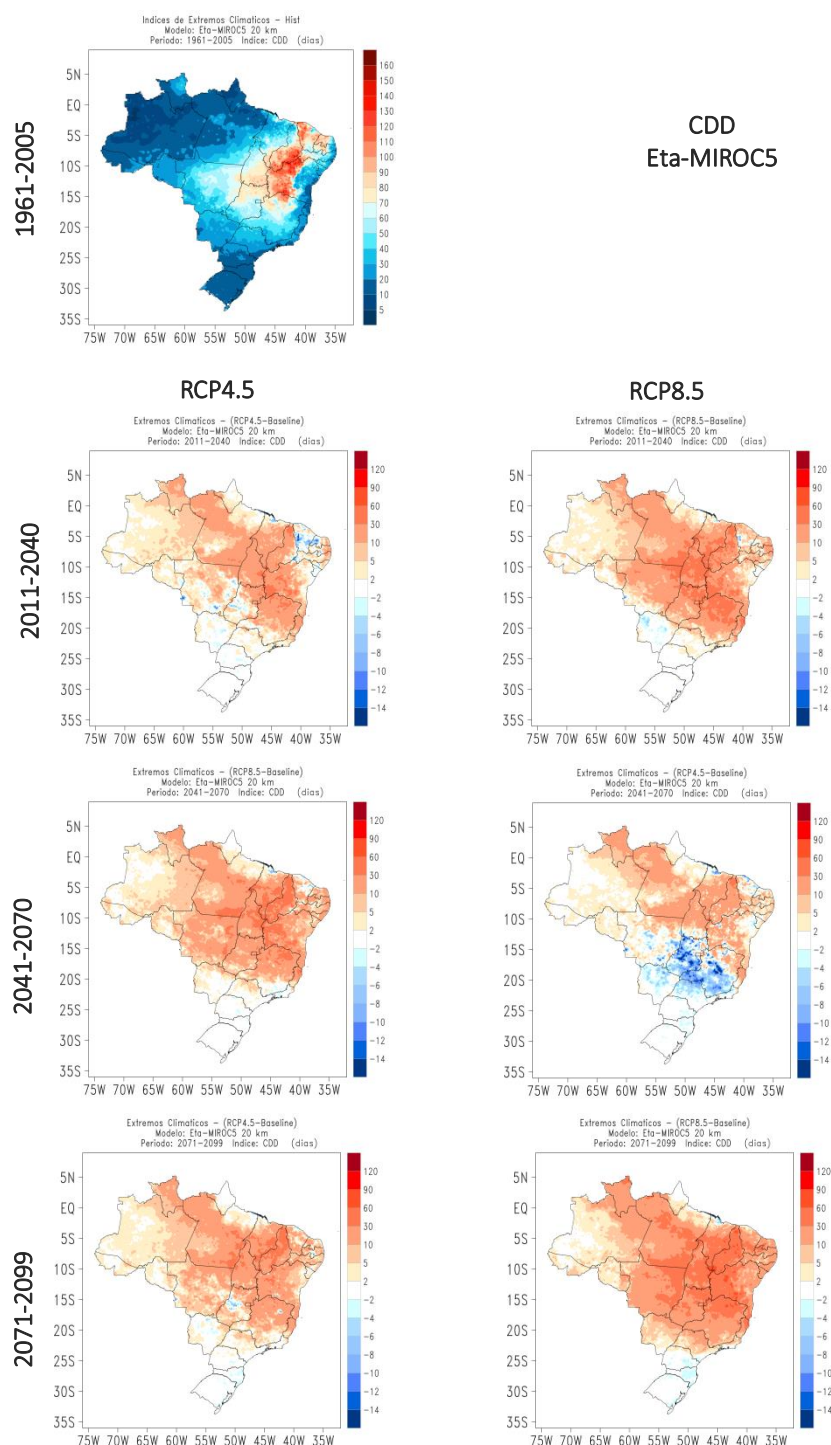
**Tabela 3** Lista de conjunto de dados.



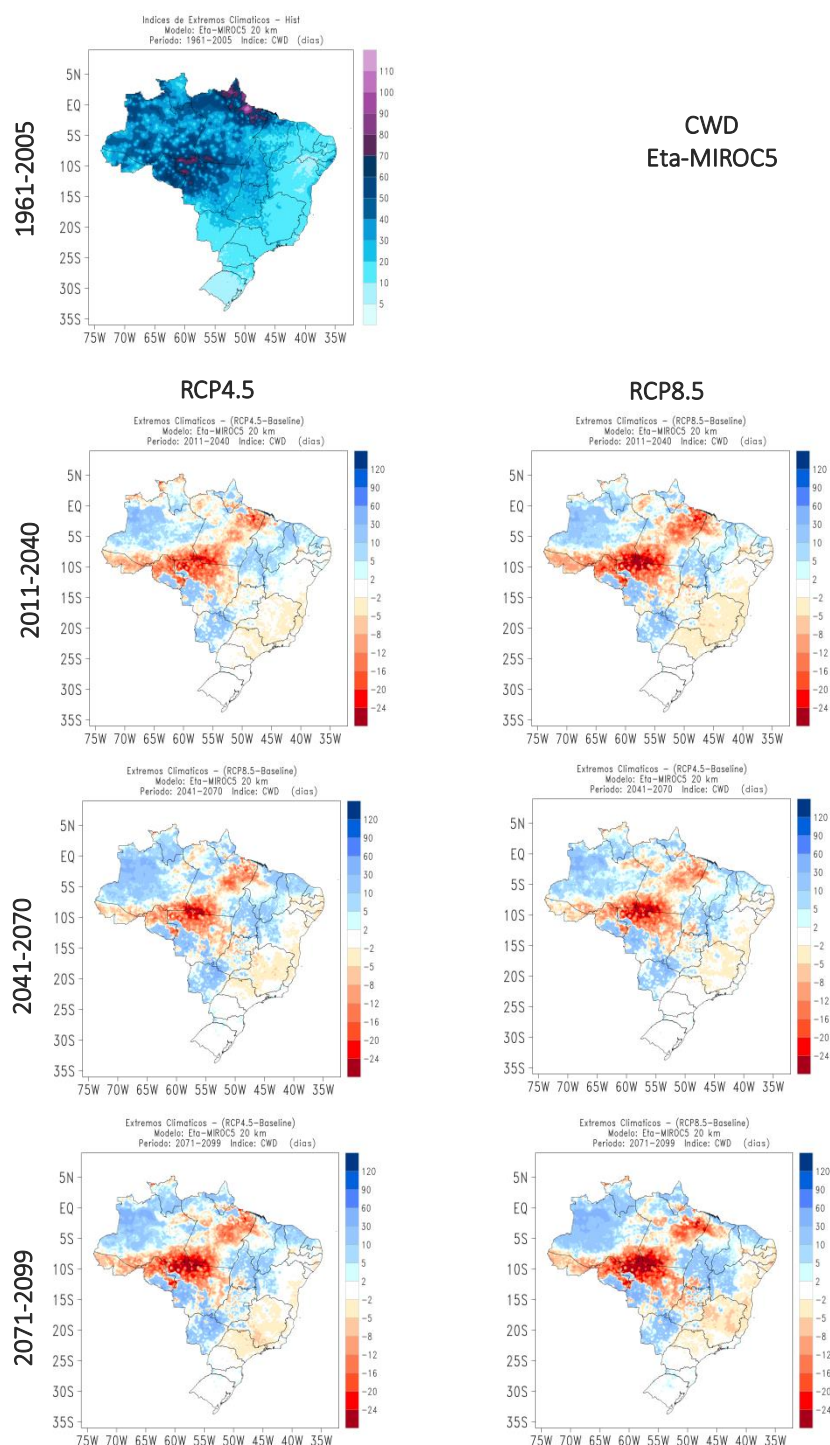
## Índices de extremos climáticos de precipitação



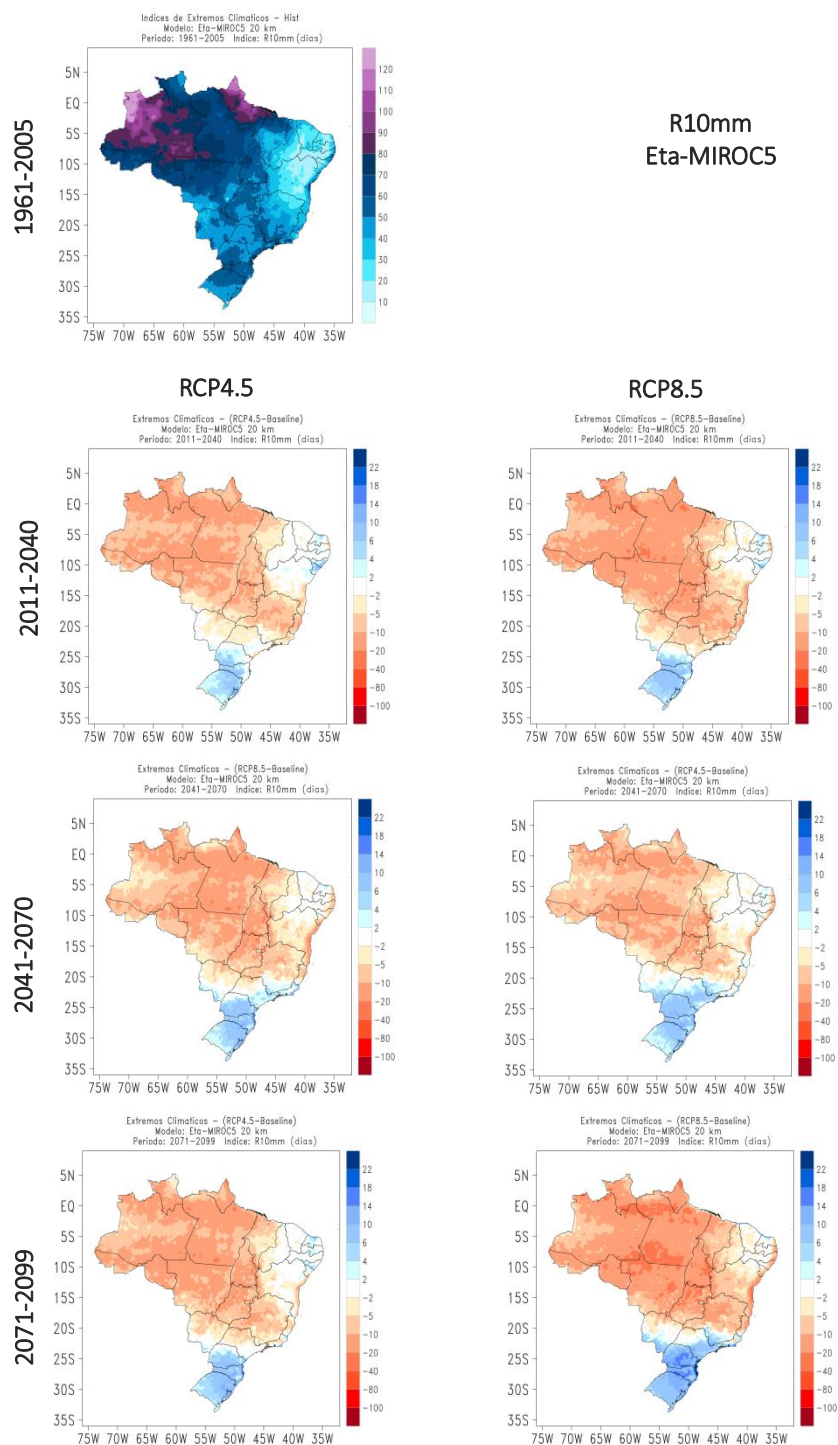
**Figura 6** Índice PRCPTOT. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.



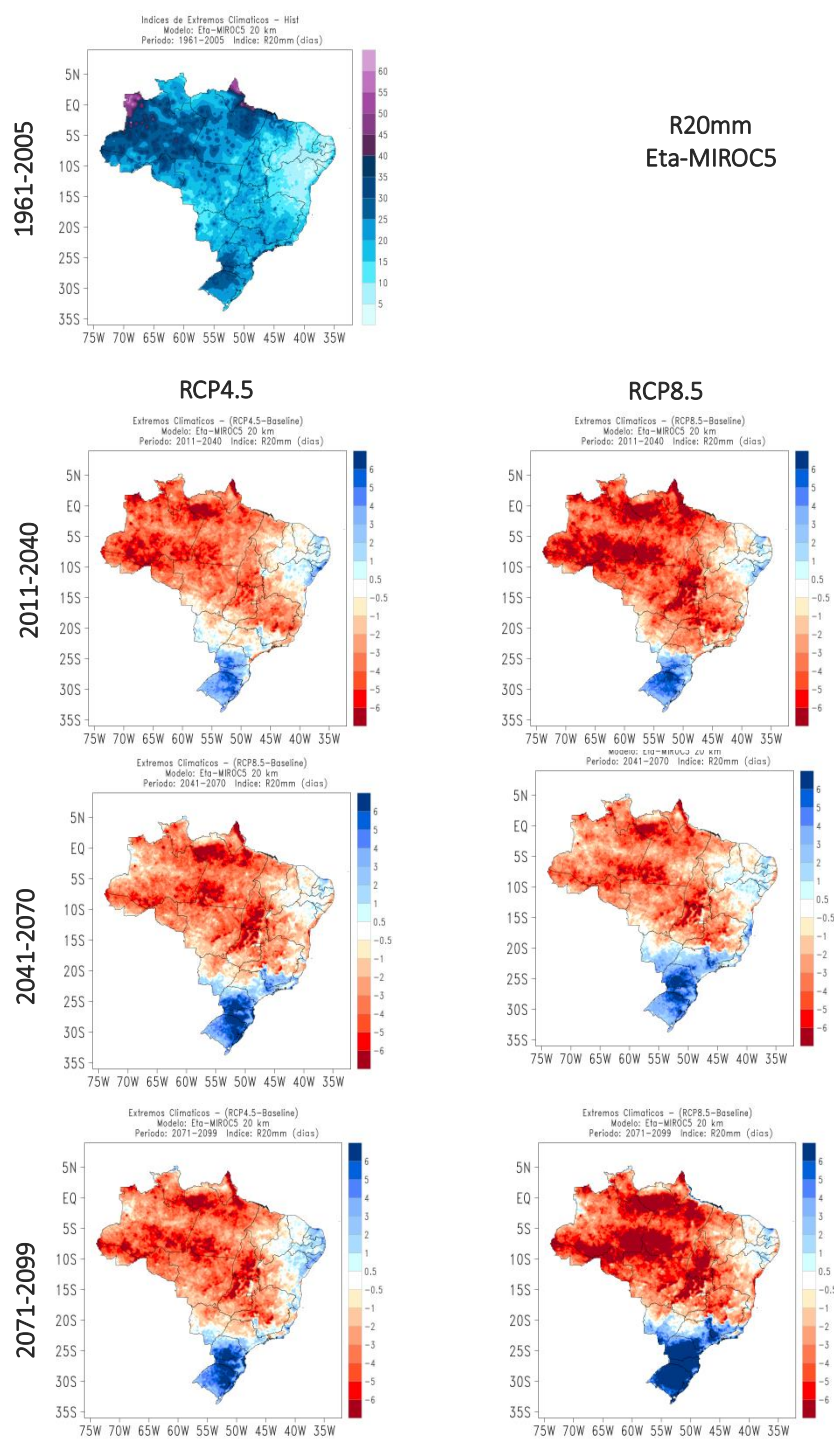
**Figura 7** Índice CDD. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.



**Figura 8** Índice CWD. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.

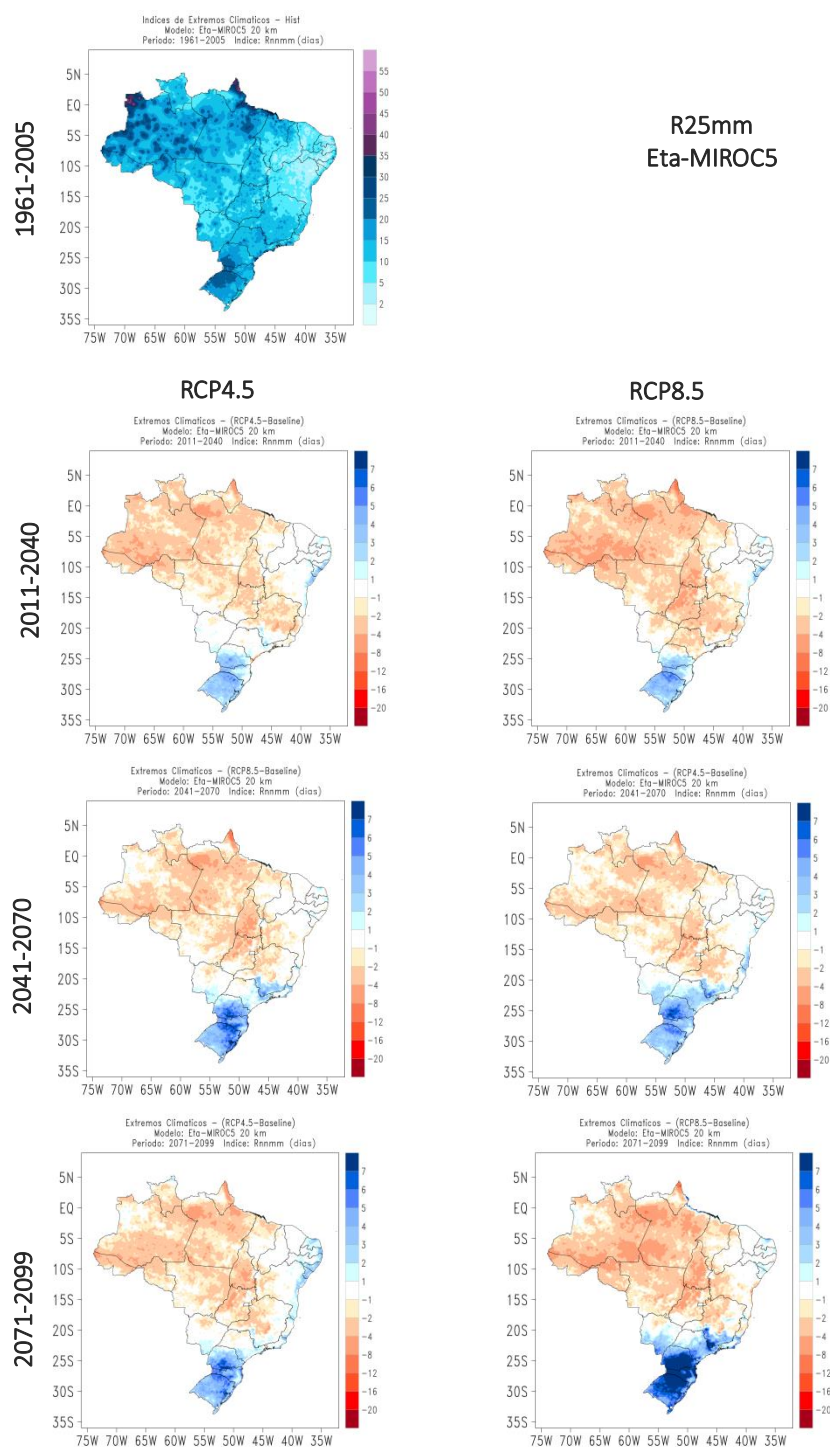


**Figura 9** Índice R10mm. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.



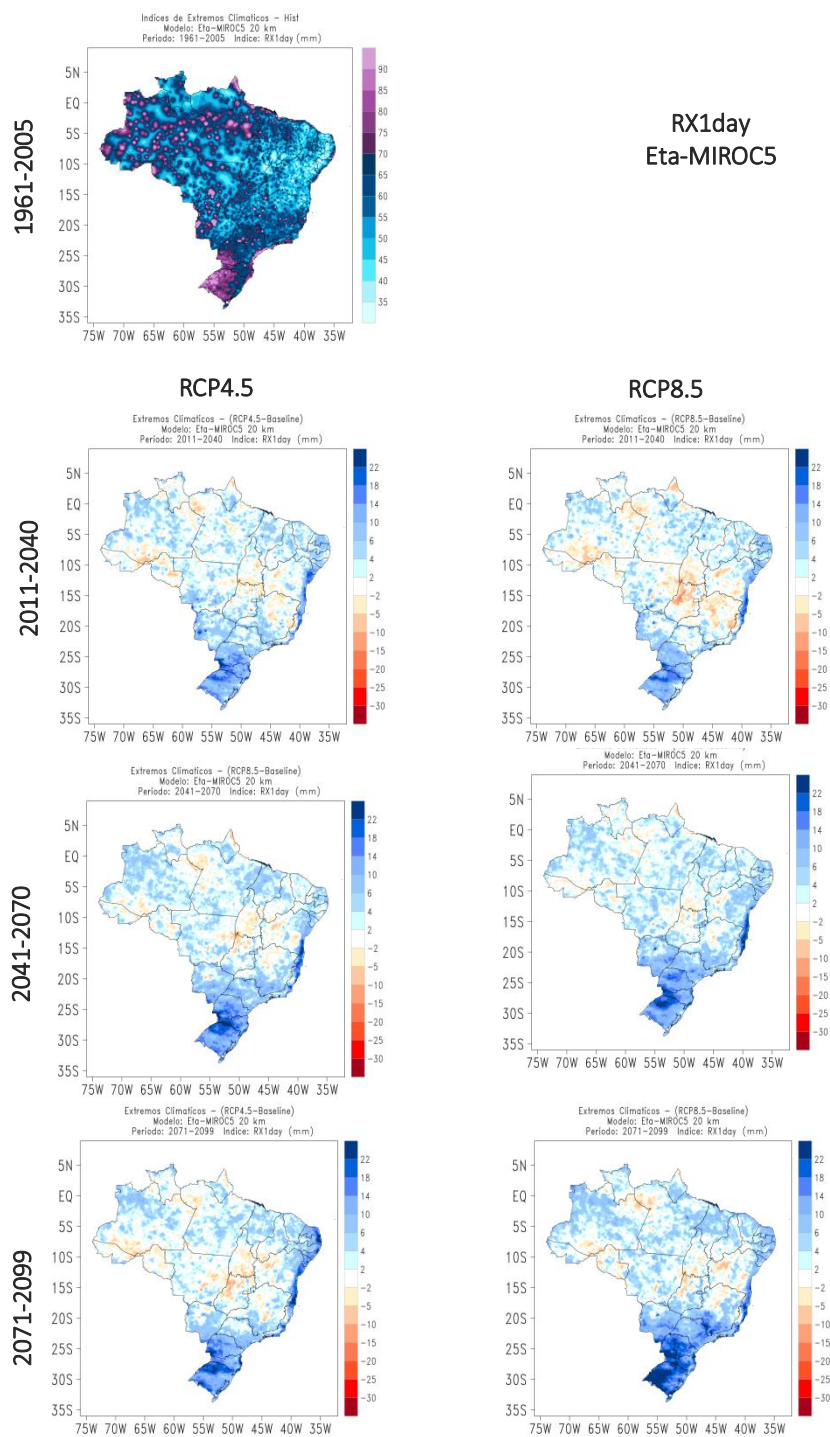
**Figura 10** Índice R20mm. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.



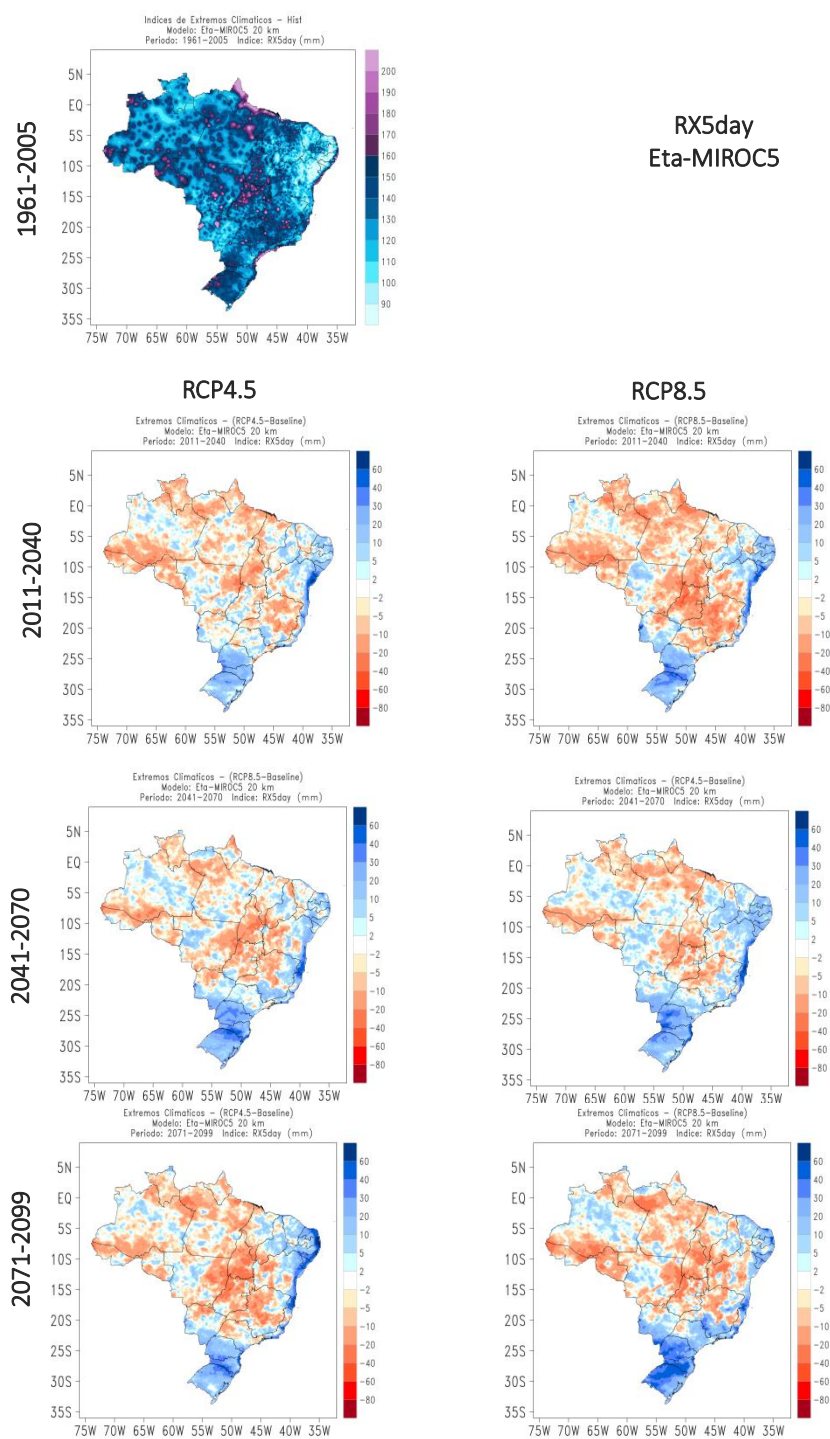


**Figura 11** Índice R25mm. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.

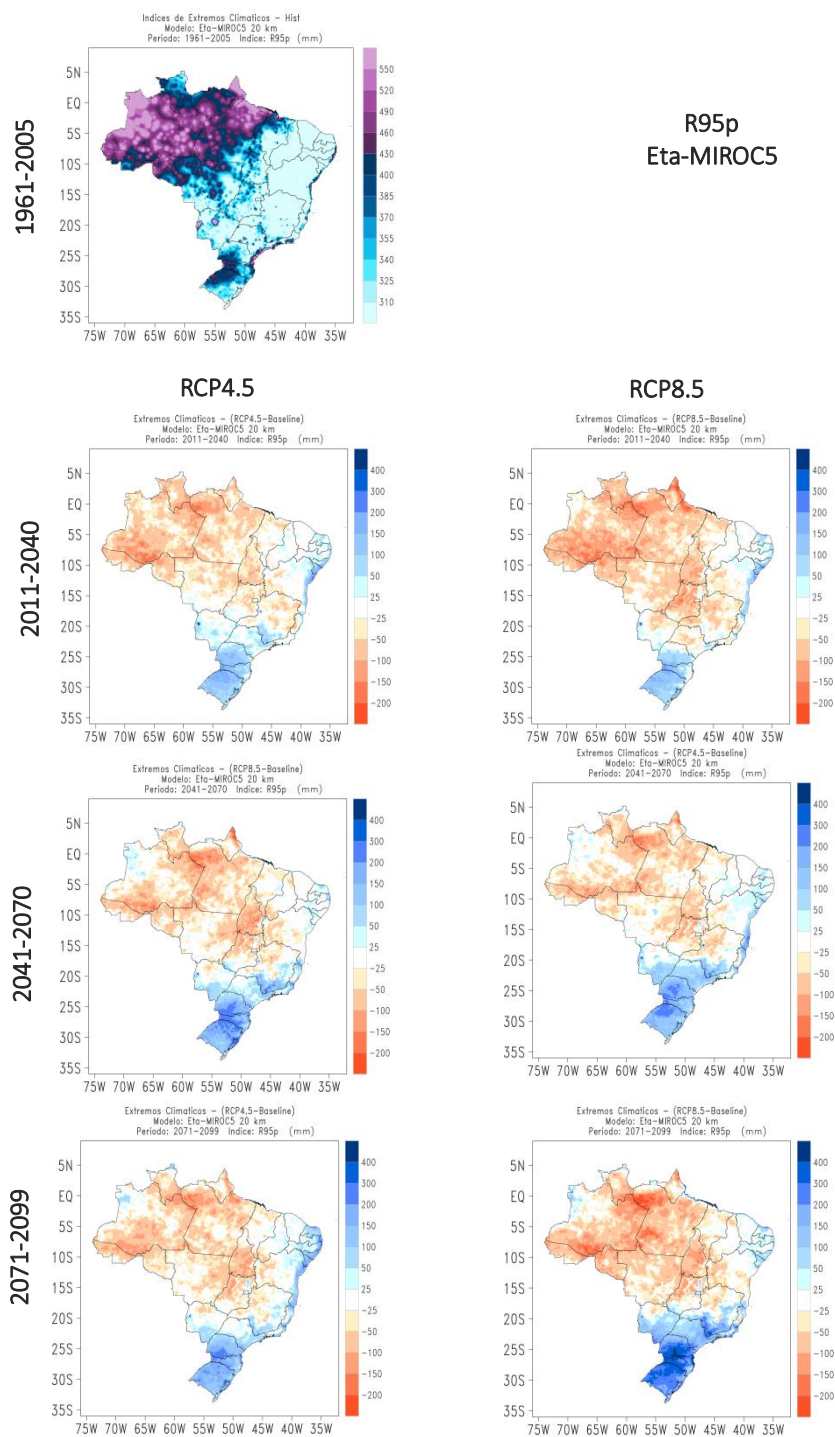




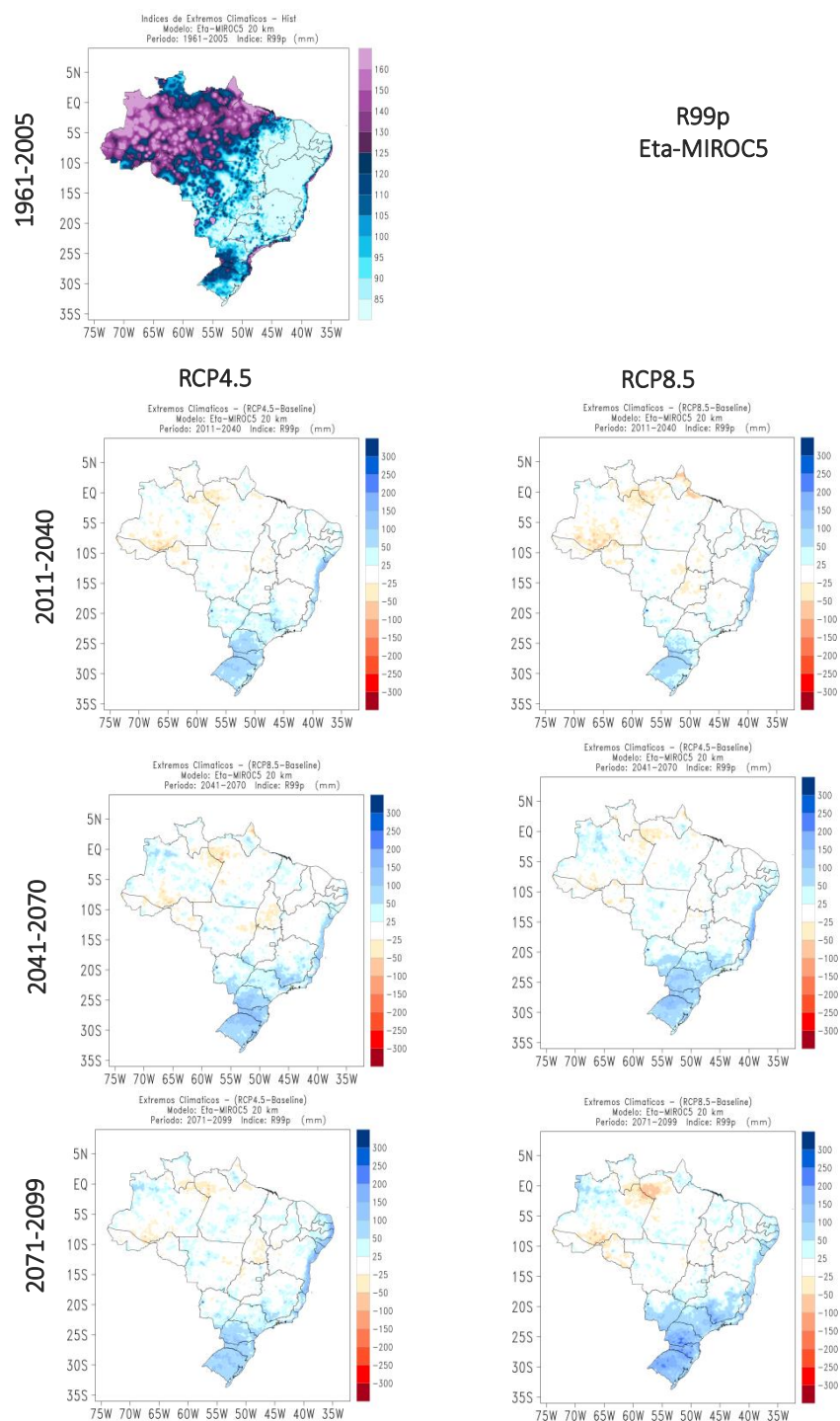
**Figura 12** Índice RX1day. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.



**Figura 13** Índice RX5day. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.

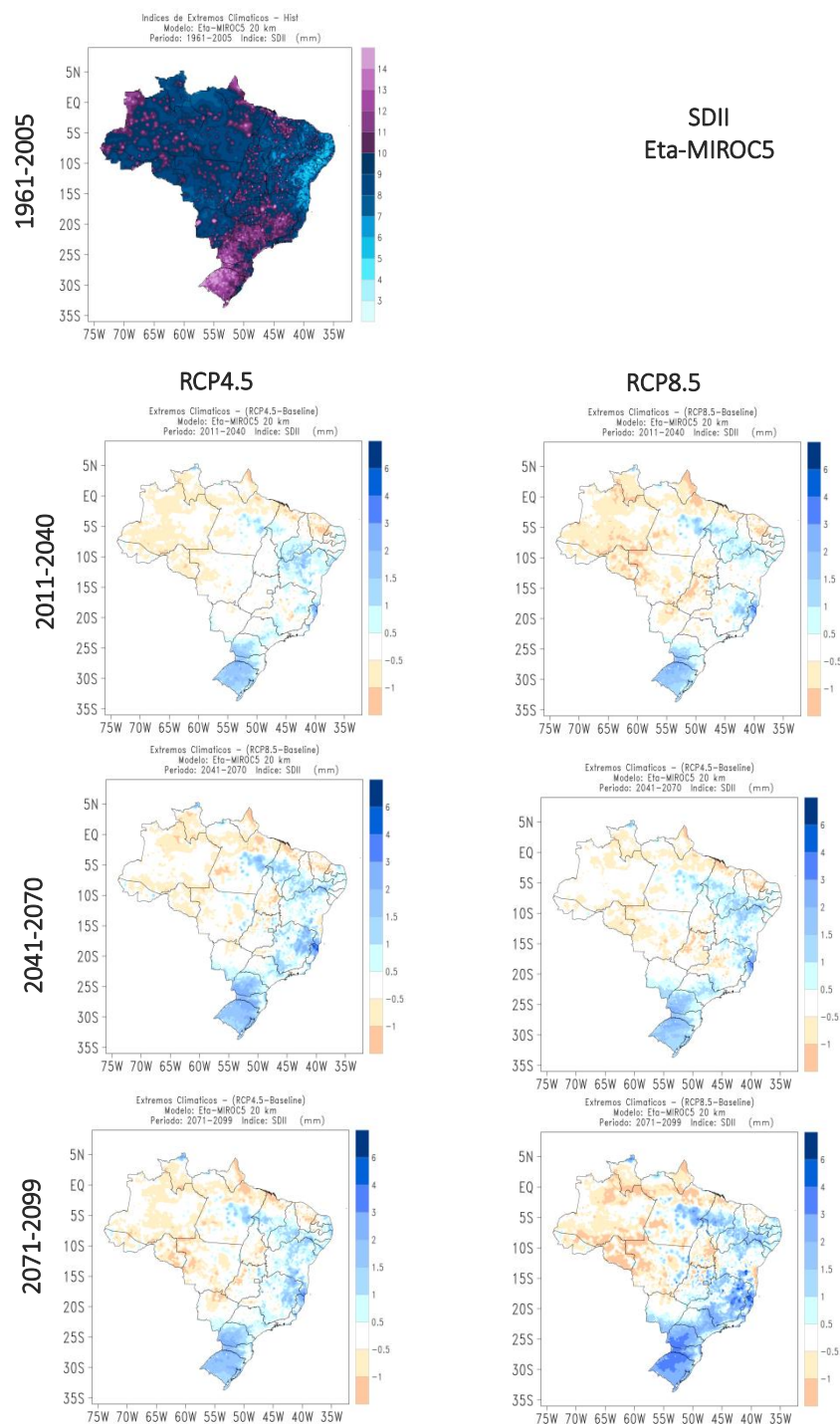


**Figura 14** Índice R95p. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.



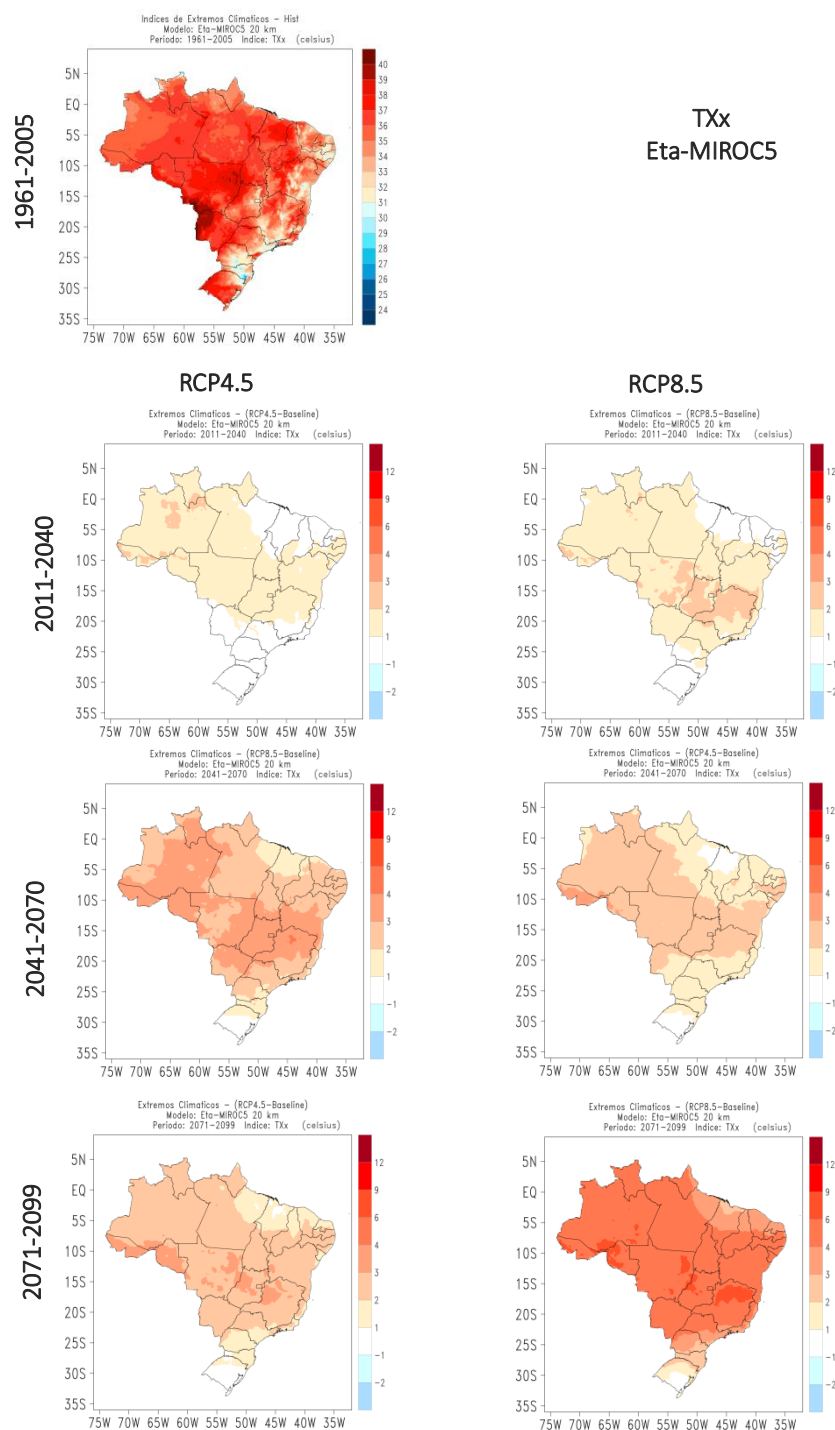
**Figura 15** Índice R99p. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.





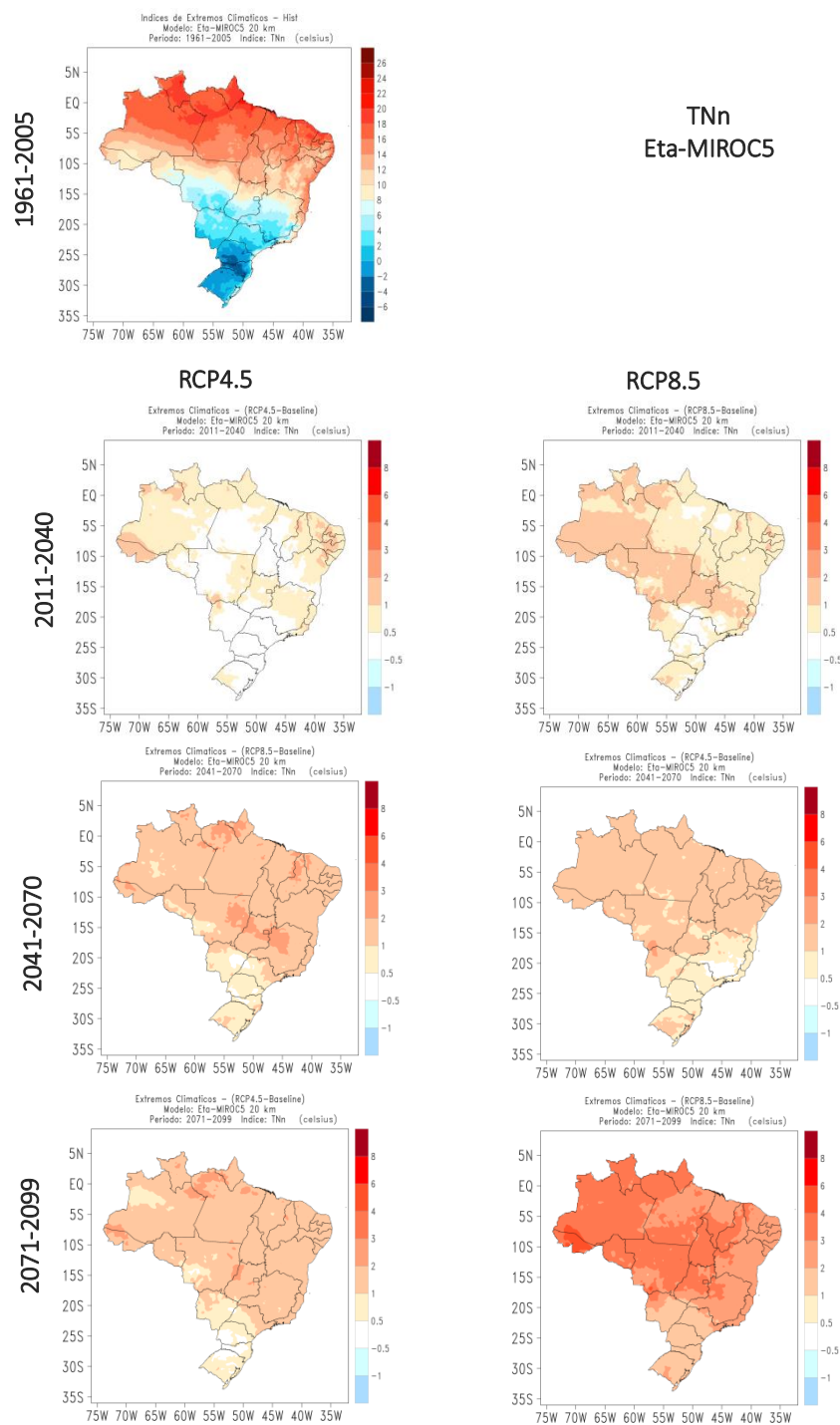
**Figura 16** Índice SDII. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.

## Índices de extremos climáticos de temperatura

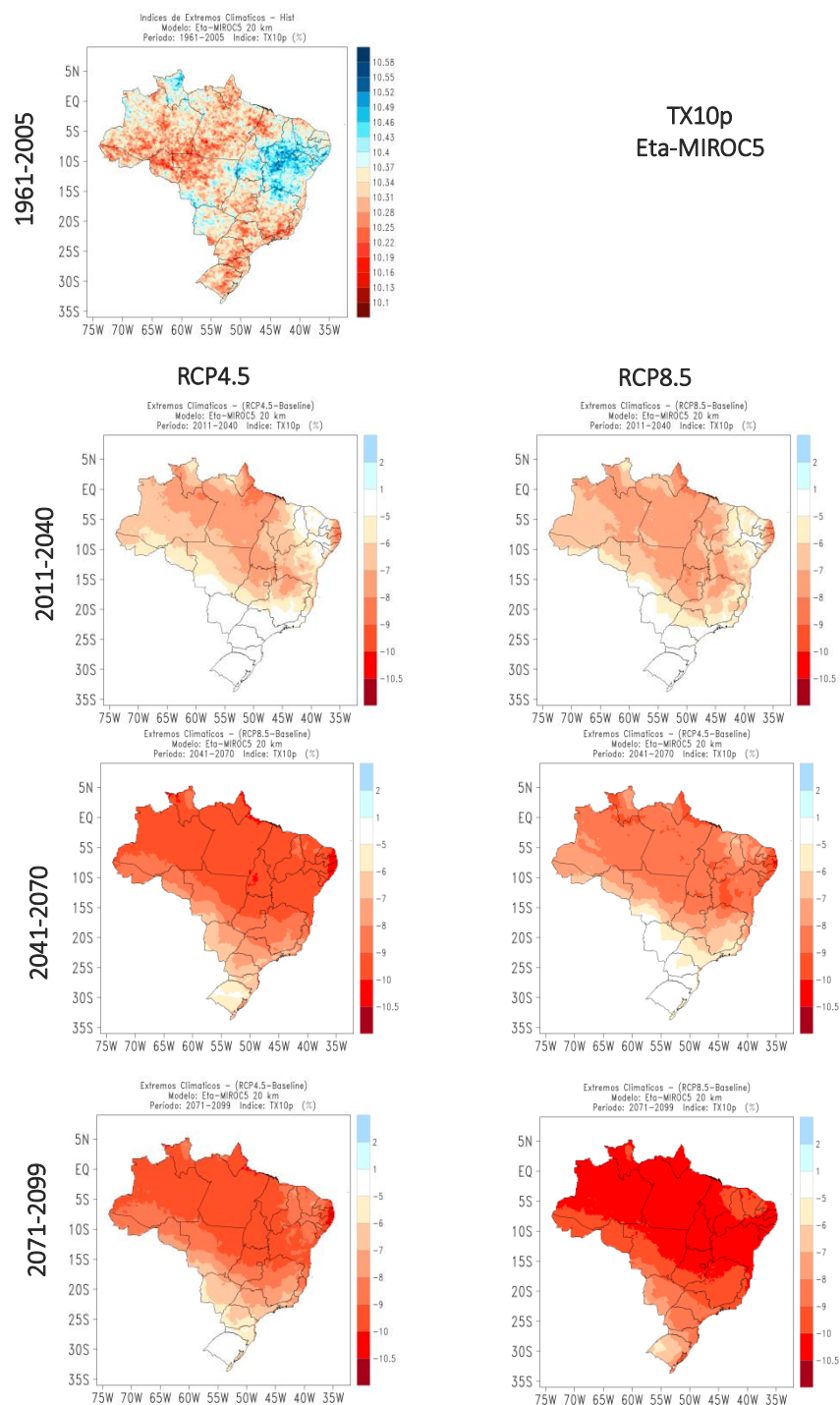


**Figura 17** Índice TXx. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.

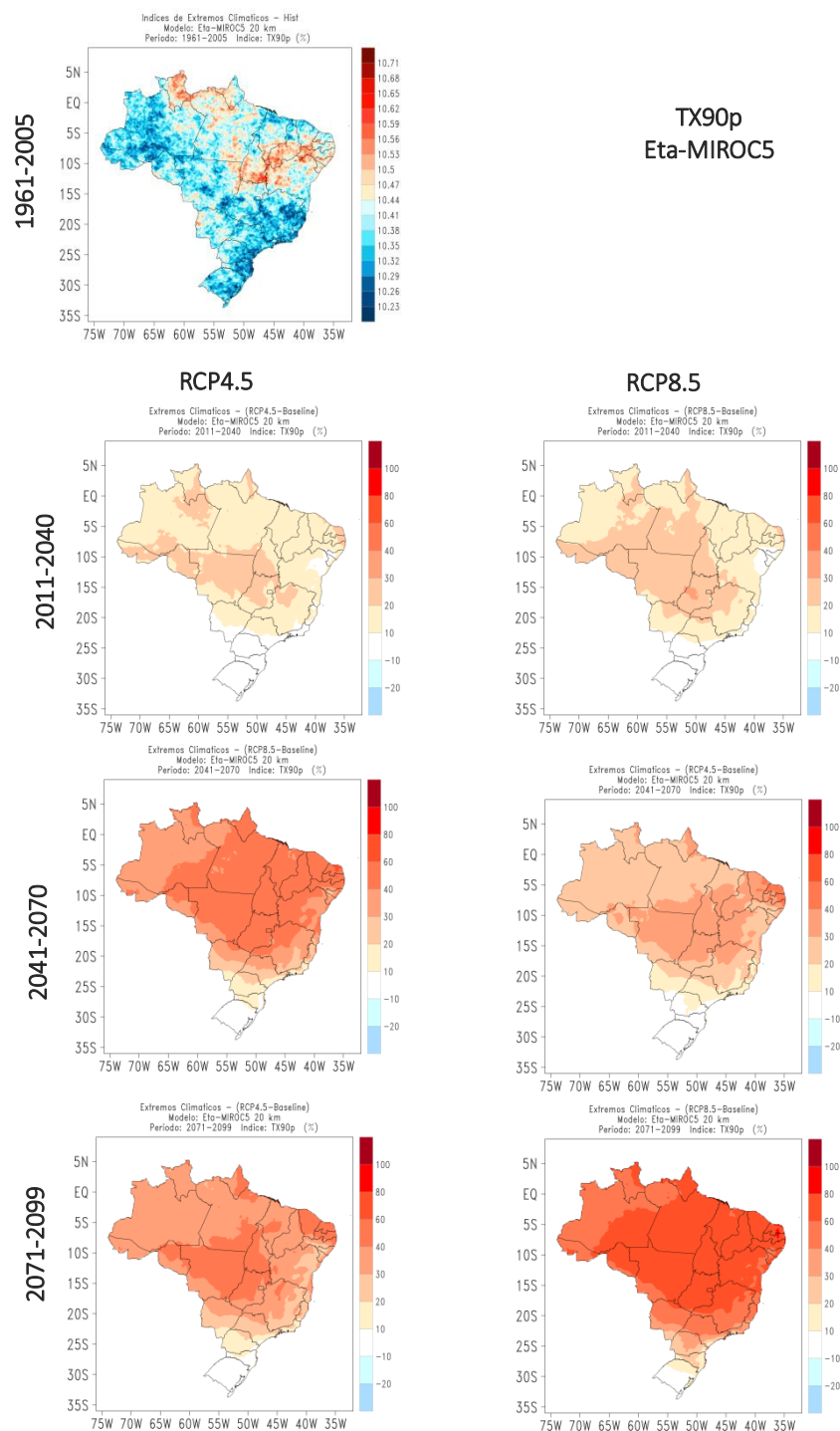




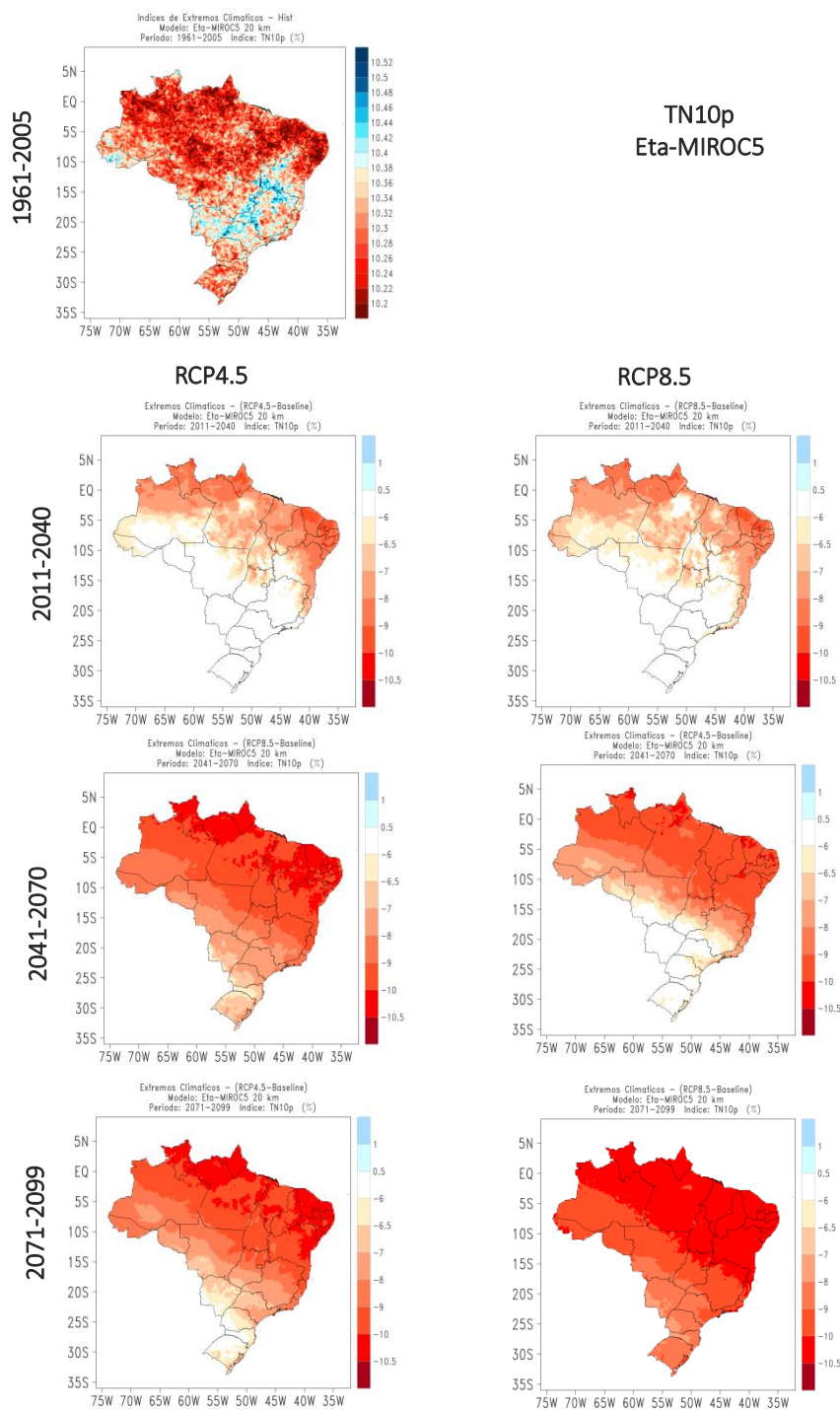
**Figura 18** Índice TNn. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.



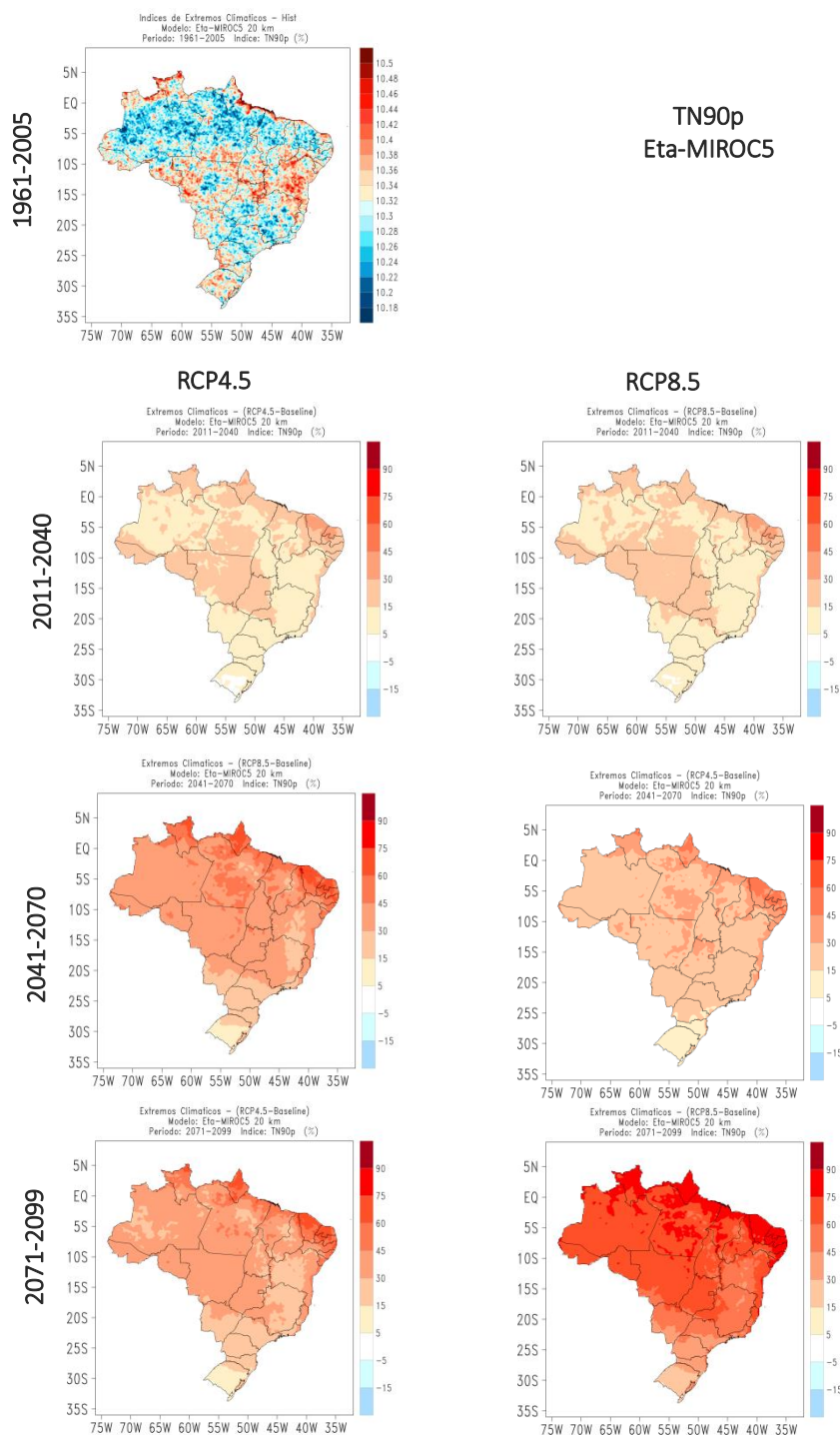
**Figura 19** Índice TX10p. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.



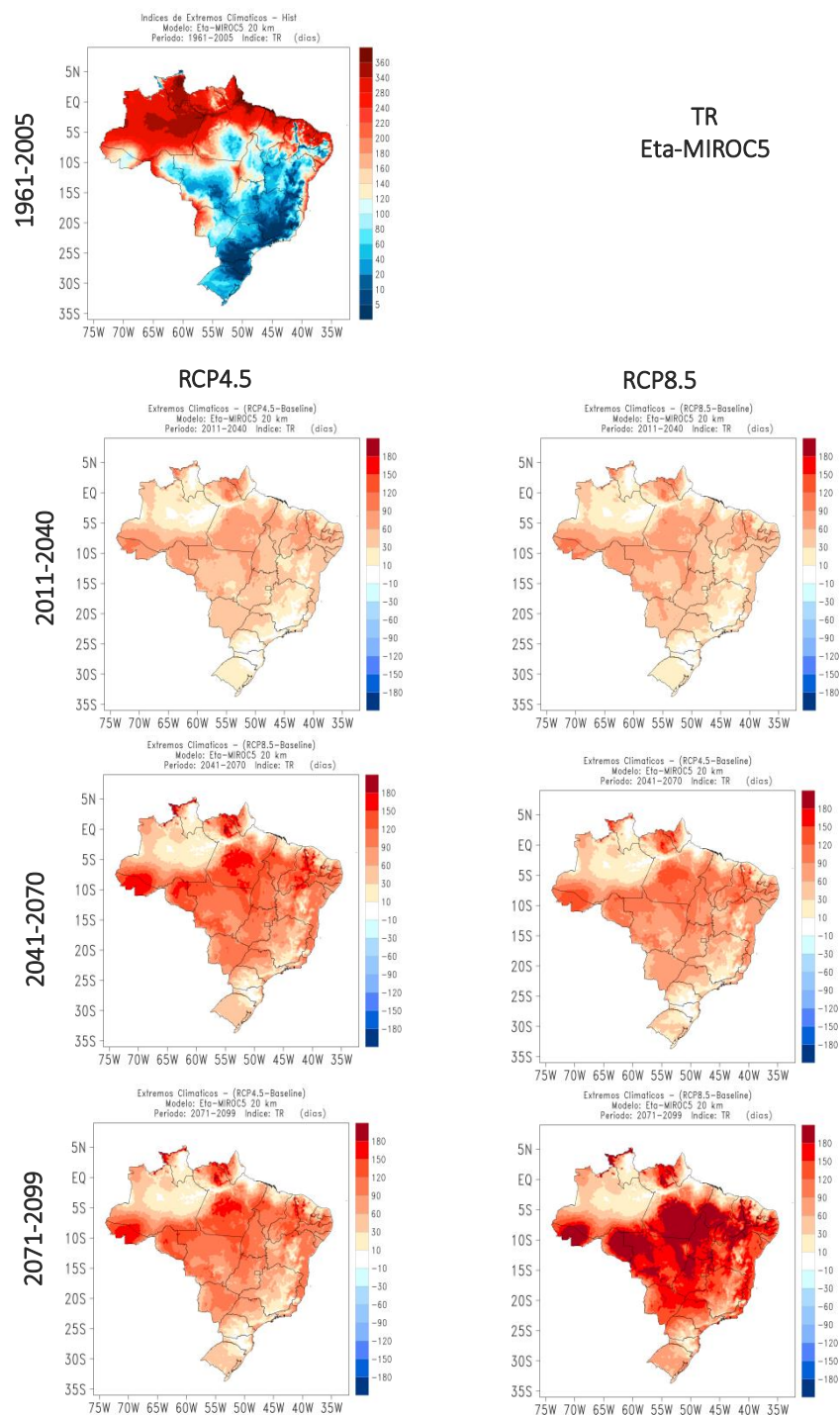
**Figura 20** Índice TX90p. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.



**Figura 21** Índice TN10p. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.

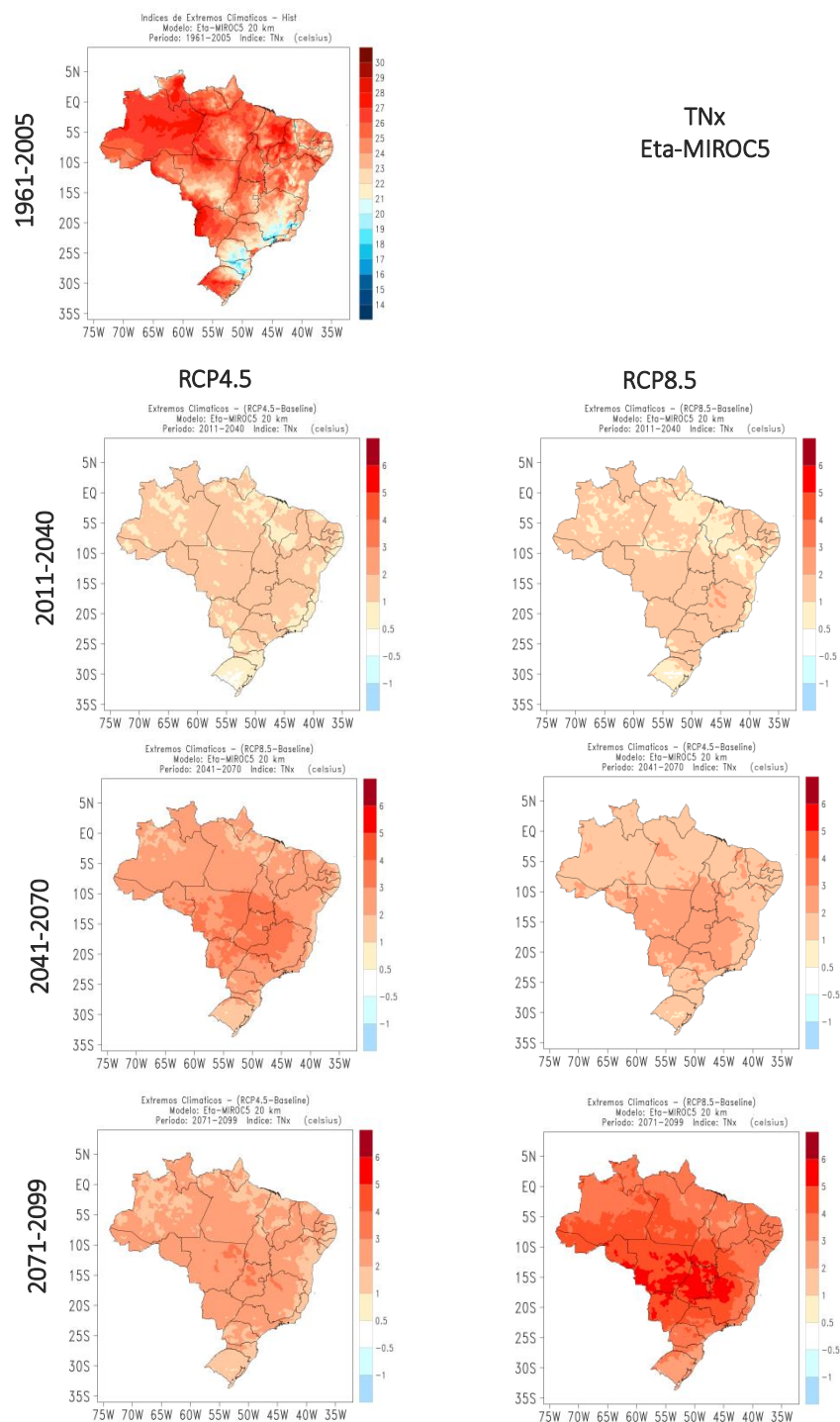


**Figura 22** Índice TN90p. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.

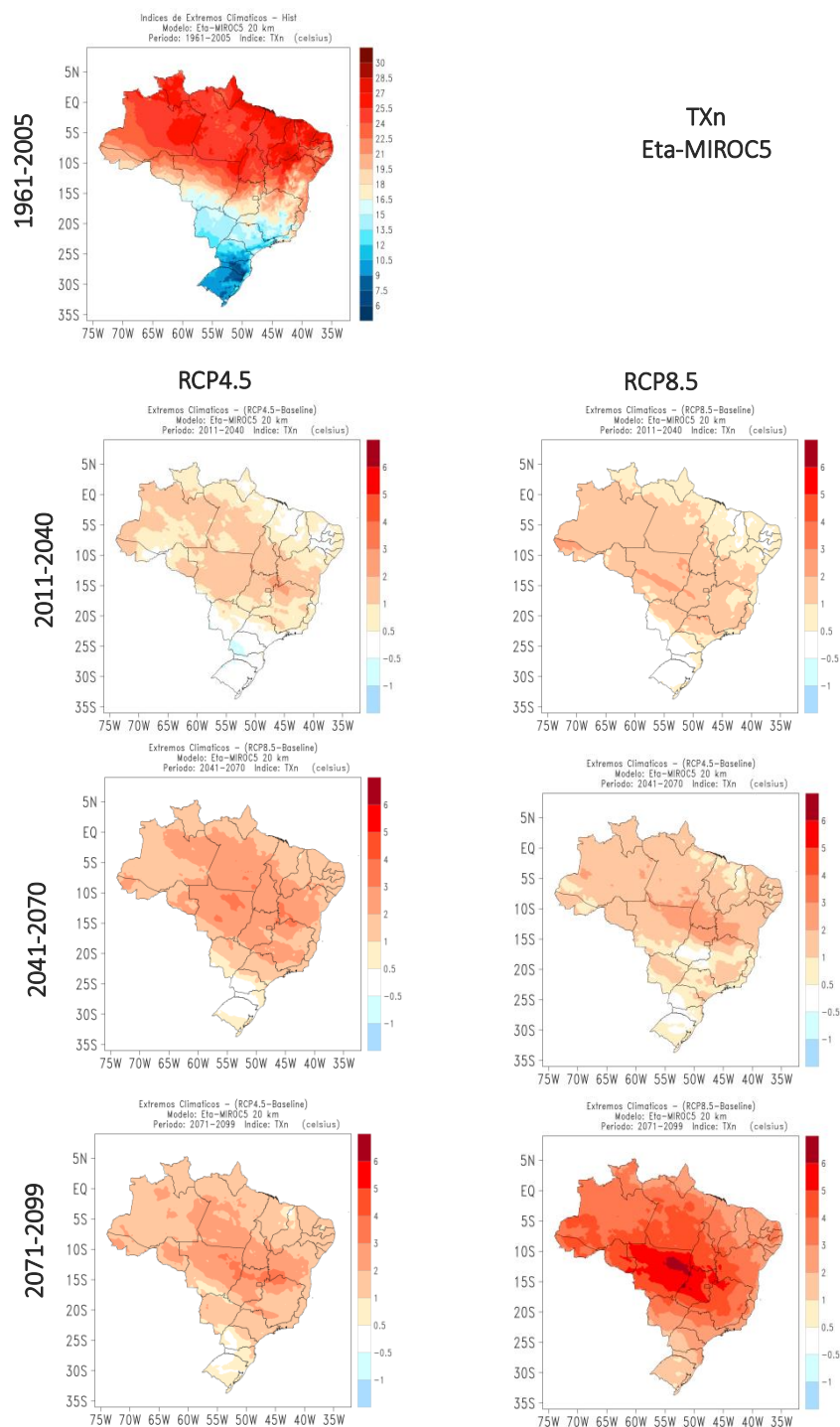


**Figura 23** Índice TR. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.

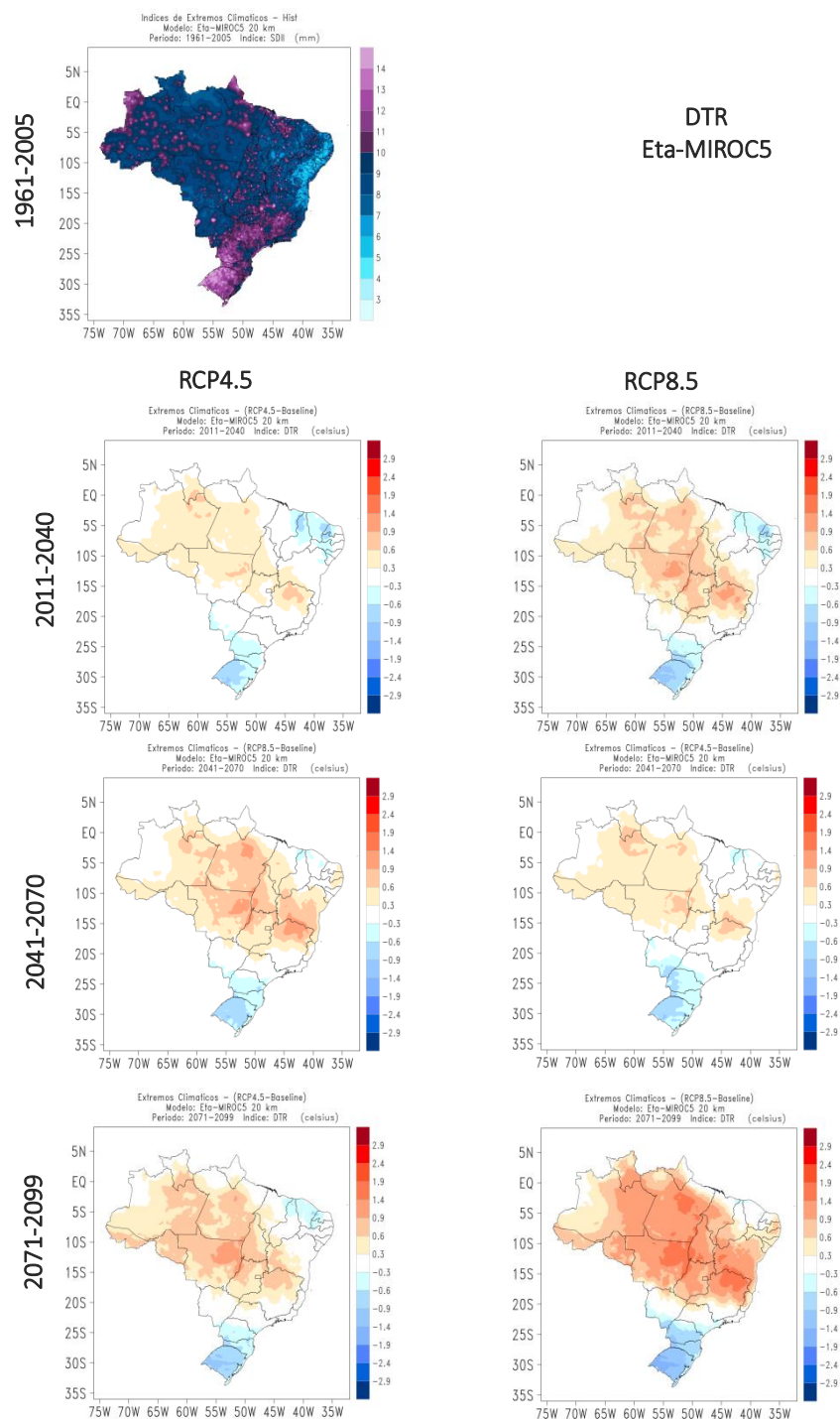




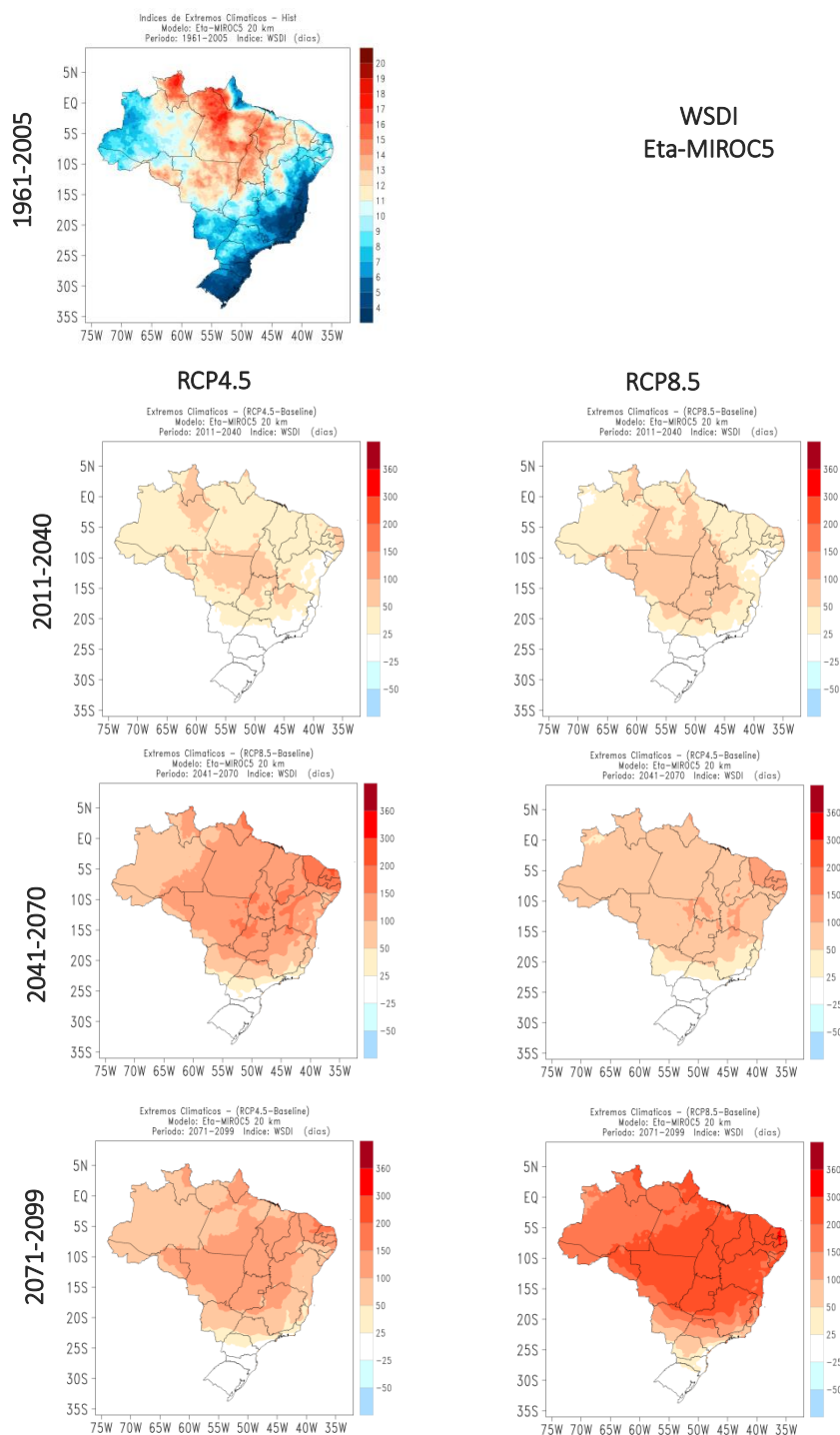
**Figura 24** Índice TNx. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.



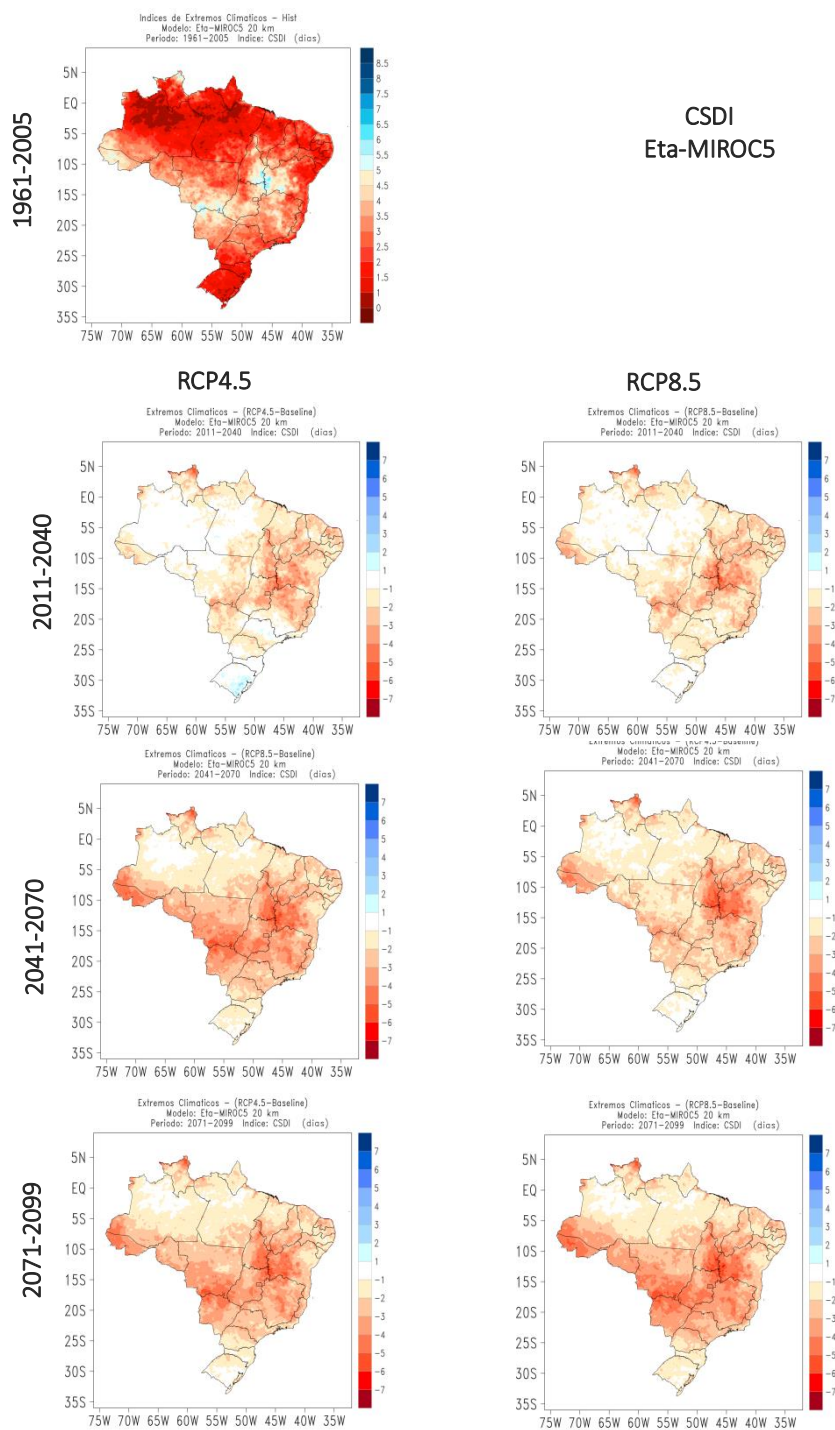
**Figura 25** Índice TXn. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.



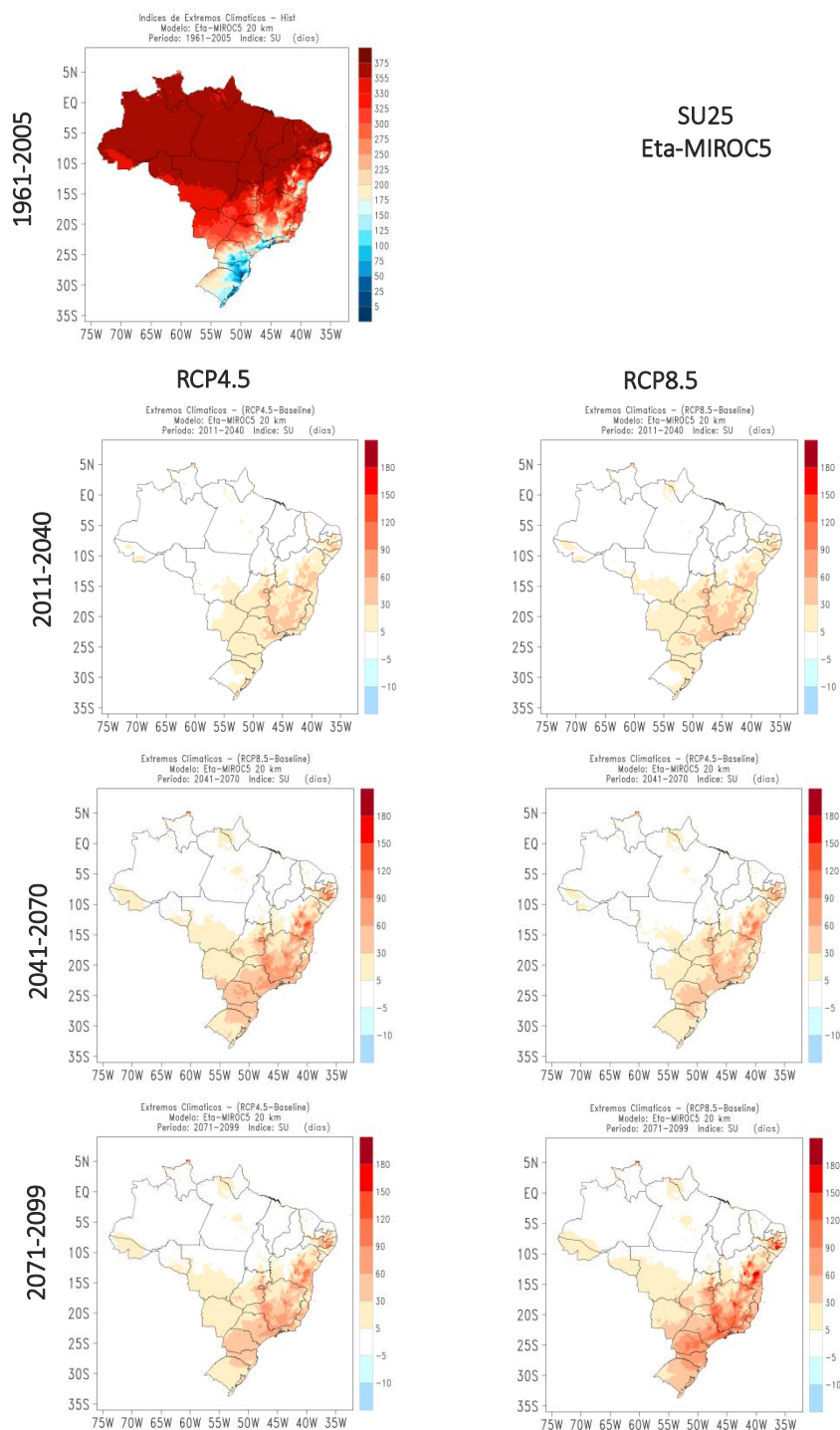
**Figura 26** Índice DTR. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.



**Figura 27** Índice WSDI. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.

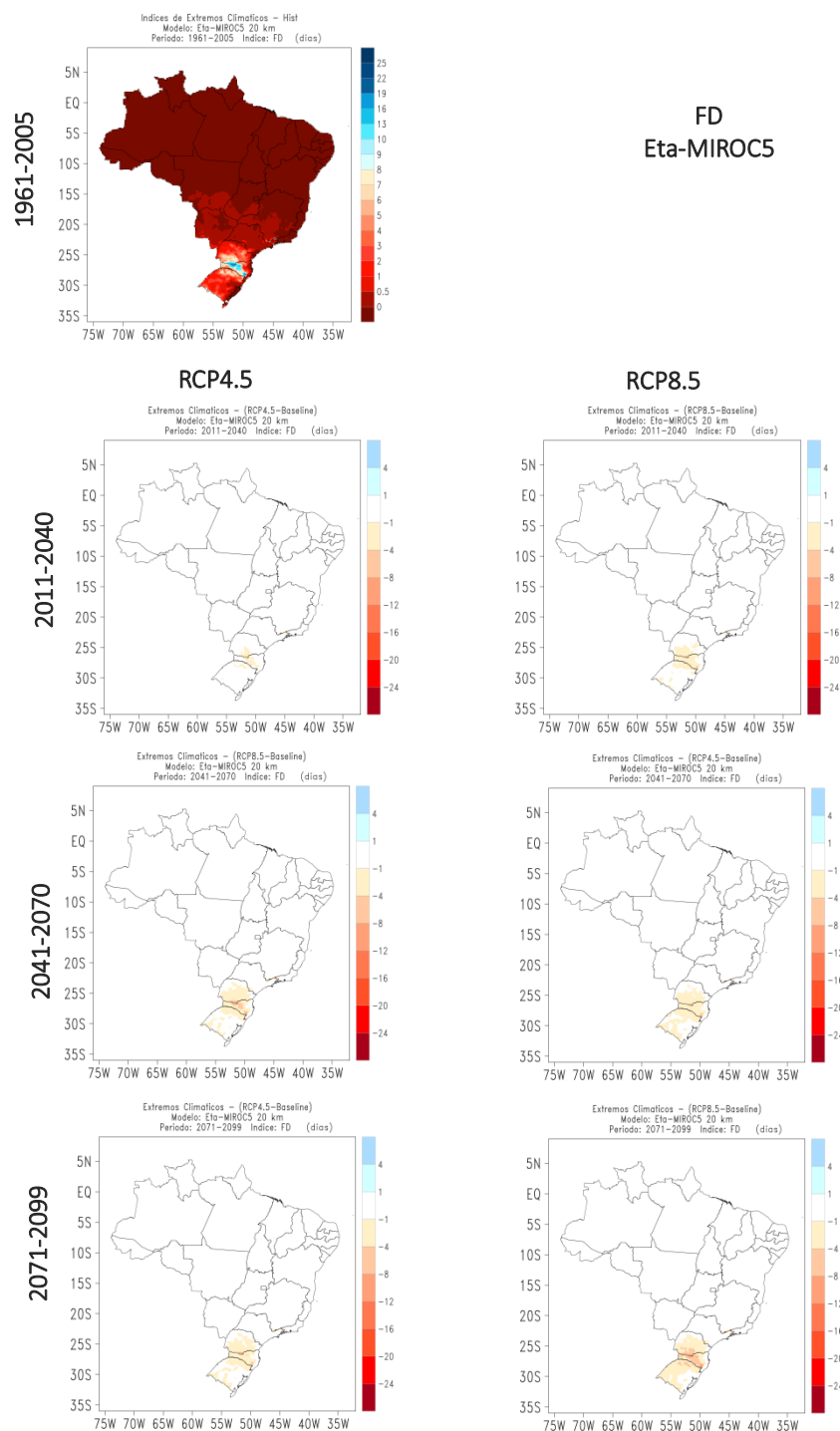


**Figura 28** Índice CSDI. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.

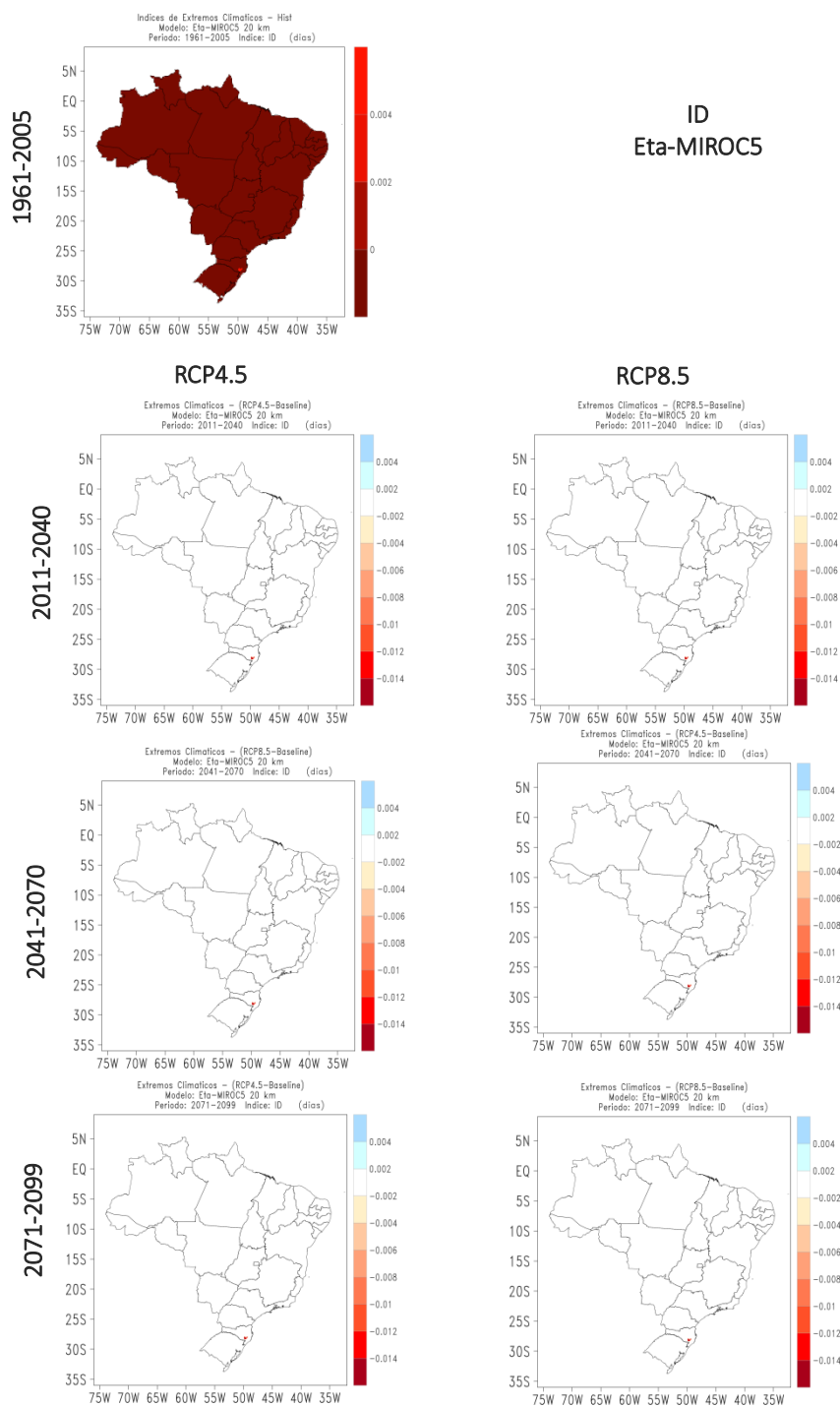


**Figura 29** Índice SU25. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.





**Figura 30** Índice FD. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.



**Figura 31** Índice ID. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.

## 5.0 Próximas etapas

Será apresentado na próxima etapa o segundo relatório, no qual demonstrará o carregamento dos índices de extremos climáticos gerados nesse produto no banco de dados via plataforma PROJETA (<https://projeta.cptec.inpe.br/>).

## 6.0 Síntese e considerações finais

O objetivo deste produto consistiu dos cálculos dos extremos climáticos a partir das variáveis de precipitação e das temperaturas máximas e mínimas com correção de viés utilizando o modelo Eta-MIROC5 20 km. Os índices foram calculados para o período baseline (1961 a 2005) e para projeções dos cenários RCP4.5 e RCP8.5 (2006 a 2099). A aplicação do método de correção de viés contribuiu para ajustes das variáveis no período baseline e consequentemente para representação dos extremos climáticos mais próximos das observações, constatados por campos espaciais e dos valores calculados para a estação de São Paulo. Portanto, as variáveis com correção de viés também foram usadas nos cálculos dos extremos para as projeções climáticas dos cenários RCP4.5 e RCP8.5, com isso conclui-se que o uso e a aplicação dos índices de extremos com correção de viés contribuem em grande parte para com os estudos de impactos pois apresentam menor incerteza em relação as simulações e projeções não corrigidas.

## Referências Bibliográficas

- ALEXANDER, L. V., X. ZHANG, T. C. PETERSON, J. CAESAR, B. GLEASON, A. KLEIN TANK, M. HAYLOCK, D. COLLINS, B. TREWIN, F. RAHIMZADEH, A. TAGIPOUR, P. AMBENJE, K. RUPA KUMAR, J. REVADEKAR, G. GRIFFITHS, L. VINCENT, D. STEPHENSON, J. BURN, E. AGUILAR, M. BRUNET, M. TAYLOR, M. NEW, P. ZHAI, M. RUSTICUCCI, J. L. VAZQUEZ-AGUIRRE Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. **J. Geophys. Res.**, 111, D05109, 2005. DOI: 10.1029/2005JD006290.
- ARORA, V. K.; BOER, G. J. Uncertainties in the 20th century carbon budget associated with land use change. **Global Change Biology**, v. 16, n. 12, p. 3327-3348, 2010. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2010.02202.x
- ARORA, V. K. et al. Carbon emission limits required to satisfy future representative concentration pathways of greenhouse gases. **Geophysical Research Letters**, v. 38, n. 5, 2011. DOI: 10.1029/2010GL046270
- BÁRDOSSY, A.; PEGRAM, G. Downscaling precipitation using regional climate models and circulation patterns toward hydrology, **Water Resources. Res.**, v. 47, W04505, 2011.
- BLACK, T. L. The new NMC mesoscale Eta model: Description and forecast examples. **Weather and forecasting**, 9, 265-278, 1994. DOI: DOI: [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0434\(1994\)009<0265:TNNMEM>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0434(1994)009<0265:TNNMEM>2.0.CO;2)
- CHOU, S. C. Modelo regional Eta. **Climanálise Especial**. Edição Comemorativa de 10 anos, MCT/INPE/CPTEC, Cachoeira Paulista, 1996.
- CHOU, S. C.; MARENGO, J. A.; LYRA, A. A.; SUEIRO, G.; PESQUERO, J. F.; ALVES, L. M.; KAY G.; BETTS, R.; CHAGAS, D. J.; GOMES, J. L.; BUSTAMANTE, J. F.; TAVARES, P. S. Downscaling of South America present climate driven by 4-member HadCM3 runs. **Climate dynamics**, v. 38, n. 3-4, p. 635-653, 2012. doi: 10.1007/s00382-011-1002-8
- CHOU, S. C.; LYRA, A. A.; MOURÃO, C.; DEREZYNSKI, C.; PILOTTO, I.; GOMES, J.; et al. Assessment of climate change over South America under RCP 4.5 and 8.5 downscaling scenarios. **American Journal of Climate Change**, v. 3, p. 512-527, 2014a. DOI: 10.4236/ajcc.2014.35043
- CHOU, S. C.; LYRA, A.; MOURÃO, C.; DEREZYNSKI, C.; PILOTTO, I.; GOMES, J.; BUSTAMANTE, J. F.; TAVARES, P. S.; SILVA, A.; RODRIGUES, D.; CAMPOS, D.; CHAGAS, D.; SUEIRO, G.; SIQUEIRA, G.; NOBRE, P.; MARENGO, J. Evaluation of the Eta simulations nested in three global climate models. **American Journal of Climate Change**, v. 3, n. 05, p. 438, 2014b. doi: 10.4236/ajcc.2014.35039
- CHYLEK, P. et al. Observed and model simulated 20th century Arctic temperature variability: Canadian earth system model CanESM2. **Atmospheric Chemistry and Physics Discussions**, v. 11, n. 8, p. 22893-22907, 2011.

DIAS, M. A. F. S. Eventos climáticos extremos. **Revista USP**, n. 103, p. 33-40, 2014. DOI: 10.11606/issn.2316-9036.v0i103p33-40

ESPINOZA, J. C.; MARENGO, J. A.; RONCHAIL, J., CARPIO, J. M., FLORES, L. N.; GUYOT, J. L. The extreme 2014 flood in south-western Amazon basin: the role of tropical-subtropical South Atlantic SST gradient. **Environmental Research Letters**, v. 9, n. 12, p. 124007, 2014. DOI:10.1088/1748-9326/9/12/124007.

GROISMAN, P. Y.; KNIGHT, R. W.; EASTERLING, D. R.; KARL, T. R.; HEGERL, G. C.; RAZUVAEV, V. N. Trends in intense precipitation in the climate record. **Journal of Climate**, V. 18, n. 9, p. 1326-1350, 2005. DOI: 10.1175/JCLI3339.1.

HIJMAN, Robert J. et al. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. **International journal of climatology**, v. 25, n. 15, p. 1965-1978, 2005. DOI: 10.1002/joc.1276

HYNDMAN, R.J.; FAN, Y. Sample quantiles in statistical packages. *The American Statistician*, 50, 361-367, 1996.

HASUMI, Hiroyasu. **CCSR ocean component model (COCO)**. CCSR Rep, v. 13, p. 68, 2000.

IPCC, 2007: **Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

LENDERINK, G., BUISSAND, A., VAN DEURSEN, W. Estimates of future discharges of the river Rhine using two scenario methodologies: direct versus delta approach. **Hydrol. Earth Syst. Sci.** 11 (3), 1145–1159, 2007.

LYRA, A. A.; TAVARES, P. S.; CHOU, S. C.; SUEIRO, G.; DEREZYNSKI, C.; SONDERMAN, M.; SILVA, A.; MARENGO, J.; GIAROLLA, A. Climate change projections over three metropolitan regions in Southeast Brazil using the non-hydrostatic Eta regional climate model at 5-km resolution. **Theoretical and Applied Climatology**, p. 1-20, 2017. doi: 10.1007/s00704-017-2067-z

MARENGO, J. A.; RUSTICUCCI, M.; PENALBA, O.; RENOM, M. An intercomparison of observed and simulated extreme rainfall and temperature events during the last half of the twentieth century: part 2: historical trends. **Climatic Change**, v. 98, n. 3-4, p. 509-529, 2010. DOI 10.1007/s10584-009-9743-7.

MARENGO, J. A.; CHOU, S. C.; KAY, G.; ALVES, L. M.; PESQUERO, J. F.; SOARES, W. R.; SANTOS, D. C.; LYRA, A. A.; SUEIRO, G.; BETTS, R.; CHAGAS, D. J.; GOMES, J. L.; BUSTAMANTE, J. F.; TAVARES, P. S. Development of regional future climate change scenarios in South America using the Eta CPTEC/HadCM3 climate change projections: climatology and regional analyses for the Amazon, São Francisco and the Paraná River basins. **Climate Dynamics**, v. 38, n. 9-10, p. 1829-1848, 2012. DOI: 10.1007/s00382-011-1155-5.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; SOARES, W. R.; RODRIGUEZ, D. A.; CAMARGO, H.; RIVEROS, M. P.; PABLÓ, A. D. Two contrasting severe seasonal extremes in tropical South America in 2012: flood in Amazonia and drought in northeast Brazil. **Journal of climate**, v. 26, n. 22, p. 9137-9154, 2013. DOI: 10.1175/JCLI-D-12-00642.1.

MCTI. **Terceira Comunicação Nacional do Brasil para a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre as mudanças climáticas** – Volume II. Brasília, Brasil, 2016.

MESINGER, F.; JANJIC, Z. I.; NICKOVIC, S.; GAVRILOV, D.; DEAVEN, D. G. The step-mountain coordinate: Model description and performance for cases of Alpine lee cyclogenesis and for a case of Appalachian redevelopment. **Mon. Wea. Rev.**, 116, 1493-1518, 1988.

MOSS, R. H.; EDMONDS, J. A.; HIBBARD, K. A.; MANNING, M. R.; ROSE, S. K.; VAN VUUREN, D. P.; CARTER, T. R.; EMORI, S.; KAINUMA, M.; KRAM, T.; MEEHL, G. A.; MITCHELL, J. F. 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, n. 7282, p. 747-756, 2010. doi:10.1038/nature08823

NUMAGUTI, A., M. TAKAHASHI, T. NAKAJIMA, AND A. SUMI. Description of CCSR/NIES atmospheric general circulation model. National Institute for Environmental Studies, Center for Global Environmental Research Supercomputer Monograph Rep. 3, 1-48, 1997.

OKI, TAIKAN; SUD, Y. C. Design of Total Runoff Integrating Pathways (TRIP)—A global river channel network. *Earth interactions*, v. 2, n. 1, p. 1-37, 1998.

PESQUERO, J. F.; CHOU, S. C.; NOBRE, C.A.; MARENGO, J. A. Climate downscaling over South America for 1961–1970 using the Eta Model. **Theoretical and applied climatology**, v. 99, n. 1-2, p. 75-93, 2010. doi: 10.1007/s00704-009-0123-z

TAVARES, P. S.; GIAROLLA, A.; CHOU, S. C., SILVA, A. J. P.; LYRA, A. A. Climate change impact on the potential yield of Arabica coffee in southeast Brazil. **Regional Environmental Change**, p. 1-11, 2017. DOI: 10.1007/s10111.

TEUTSCHBEIN, C.; SEIBERT, J. I. Bias correction of regional climate model simulations for hydrological climate-change impact studies: Review and evaluation of different methods. **Journal of Hydrology**. 456–457, p.12-29, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.05.052>

VIOLA, M. R. ; DE MELLO, C. R. ; CHOU, S. C. ; YANAGI, S. N. ; GOMES, J. L. . 2014. Assessing climate change impacts on Upper Grande River Basin hydrology, Southeast Brazil. **International Journal of Climatology**. DOI: 10.1002/joc.4038.



WATANABE, M., T. SUZUKI, R. O'ISHI, Y. KOMURO, S. WATANABE, S. EMORI, T. TAKEMURA, M. CHIKIRA, T. OGURA, M. SEKIGUCHI, K. TAKATA, D. YAMAZAKI, T. YOKOHATA, T. NOZAWA, H. HASUMI, H. TATEBE AND M. KIMOTO. Improved Climate Simulation by MIROC5: Mean States,

Variability, and Climate Sensitivity. *Journal of Climate*, 23, 6312-6335, 2010.

ZENG, N.; YOON, J. H.; MARENGO, J. A.; SUBRAMANIAM, A.; NOBRE, C. A.; MARIOTTI, A.; NEELIN, J. D. Causes and impacts of the 2005 Amazon drought. **Environmental Research Letters**, v. 3, n. 1, p. 014002, 2008. DOI:10.1088/1748-9326/3/1/014002.

ZHANG, X.; YANG, F. RClimDex User Manual. Climate Research Division, **Science and Technology Branch**, Environment Canada. 23 p., 2004.

ZHANG, X.; HEGERL, G.; ZWIERS F.; KENYON, J. Avoiding inhomogeneity in percentile-based indices of temperature change. **J. Climate**, 18, 1641-1651, 2005.