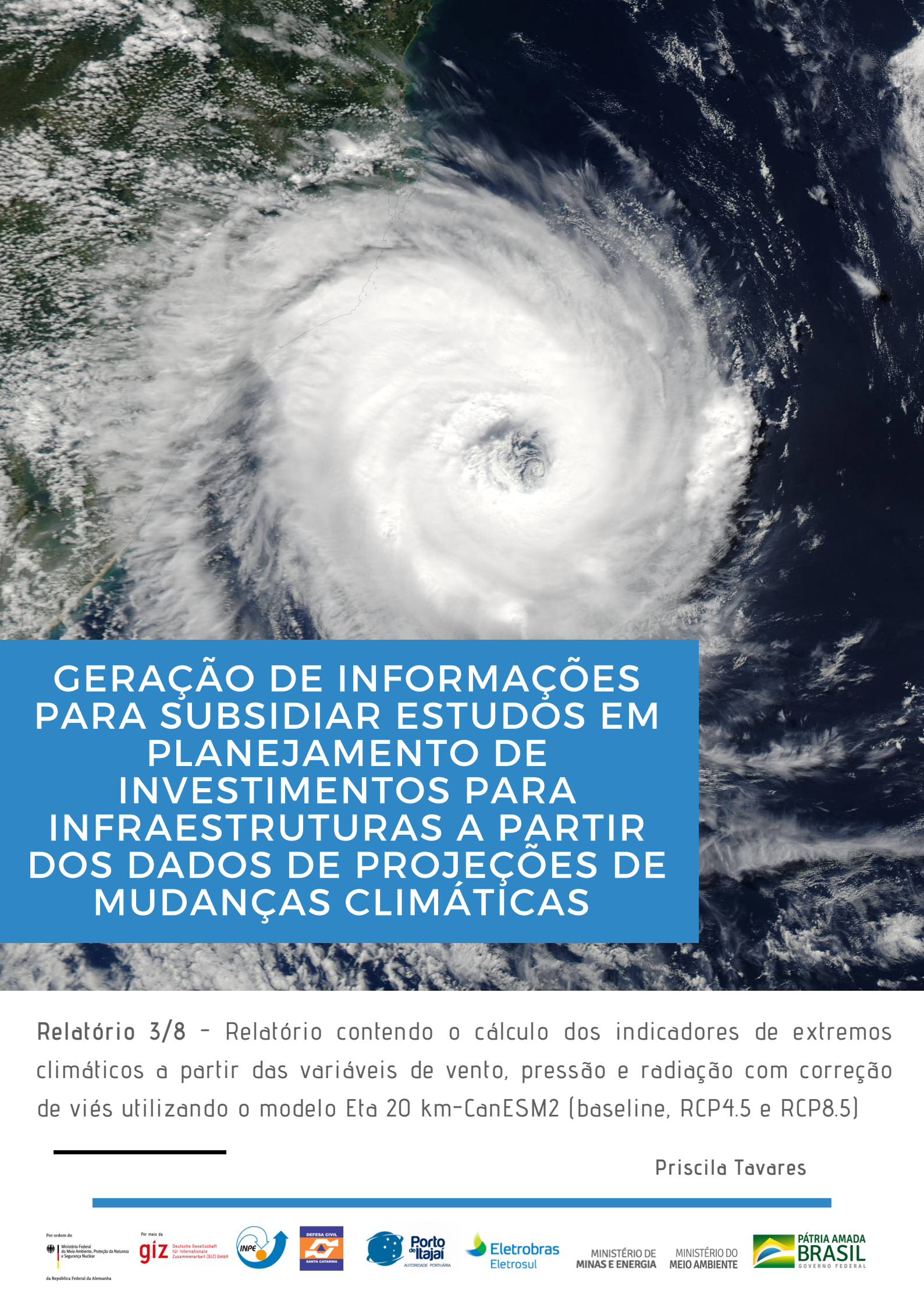




GERAÇÃO DE INFORMAÇÕES PARA SUBSIDIAR ESTUDOS EM PLANEJAMENTO DE INVESTIMENTOS PARA INFRAESTRUTURAS A PARTIR DOS DADOS DE PROJEÇÕES DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Relatório 3/8 - Relatório contendo o cálculo dos indicadores de extremos climáticos a partir das variáveis de vento, pressão e radiação com correção de viés utilizando o modelo Eta 20 km-CanESM2 (baseline, RCP4.5 e RCP8.5)

Priscila Tavares

Elaborado por: Priscila da Silva Tavares - priscilatavares@gmail.com

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
www.giz.de/brasil

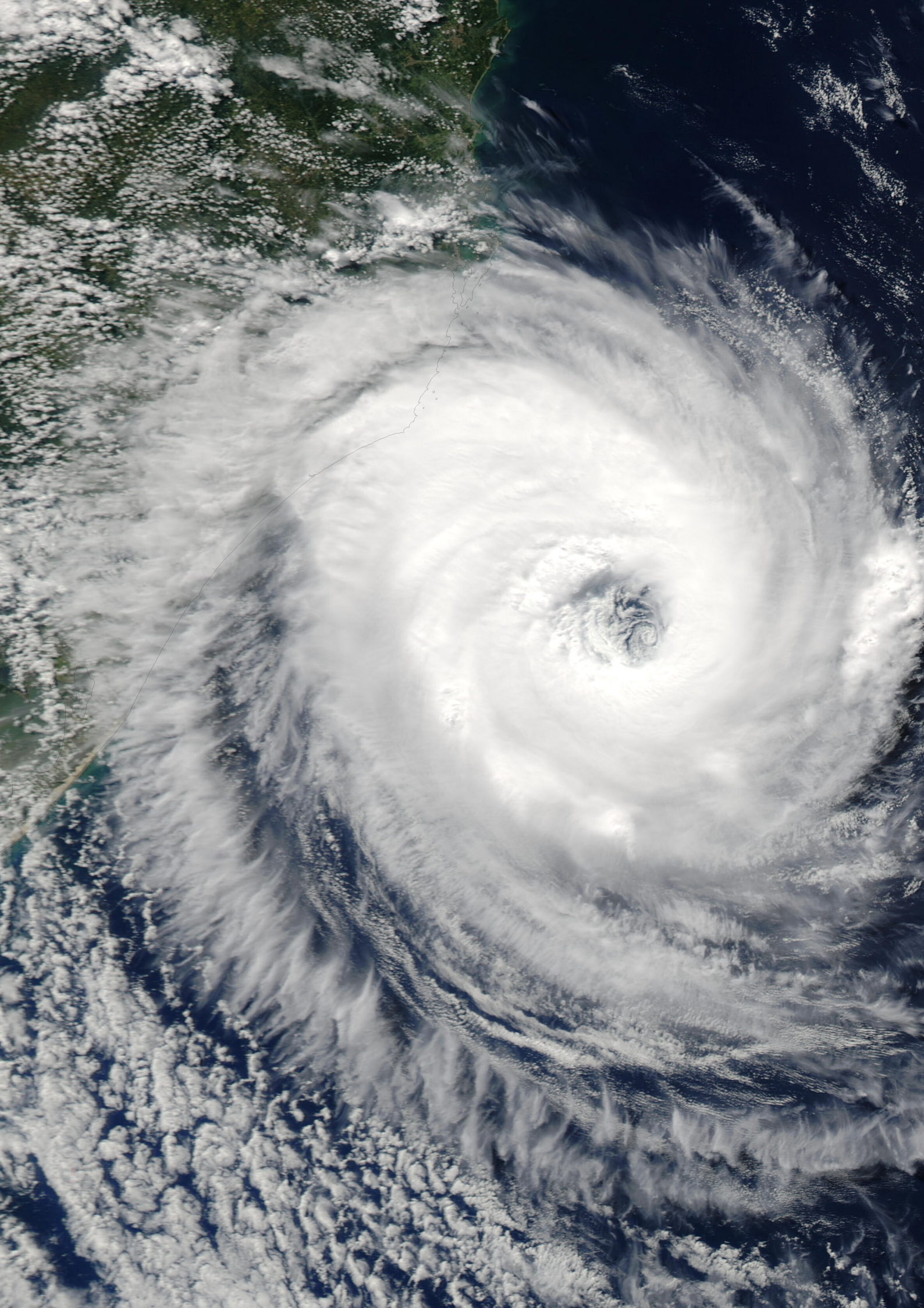
A encargo de:

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



Sumário

Lista de Figuras	iv
Lista de Tabelas	vi
1. Introdução	1
1.1 <i>Objetivo</i>	2
2. Dados e Metodologia	3
2.1 <i>Modelo Eta-CanESM2</i>	3
2.2 <i>Correção de viés</i>	4
2.3 <i>Extremos Climáticos</i>	8
2.3.1 <i>Índices de Extremos de Vento</i>	8
2.3.2 <i>Índices de Extremos de Pressão</i>	9
2.3.3 <i>Índices de Extremos de Radiação</i>	10
2.4 <i>Metodologia</i>	12
3. Resultados	13
4. Produtos disponibilizados	18
5. Próximas etapas	32
6. Síntese e considerações finais	32
Referências Bibliográficas	33

Lista de Figuras

Figura 2.1. 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 2.2. Pressão à superfície (hPa) para o período de 1982-1990 considerando as observações do INMET (a) e considerando as observações do INMET e as reanálises (b). _____ 7

Figura 2.3. Pressão à superfície (hPa) para as estações de a) Sete Lagoas – MG, b) Curitiba – PR e c) Brasília -DF para o período de 1982-1990 considerando as observações do INMET (linha roxa) e considerando as observações do INMET e as reanálises (linha azul). _____ 7

Figura 3.1. Vento máximo a 10 metros (m/s) do modelo Eta-CanESM2. A linha azul representa o ciclo anual das séries observadas das estações meteorológicas selecionadas, a linha verde representa o modelo Eta-CanESM2 e a linha vermelha representa o modelo após a correção de viés. Nessas análises o período considerado foi 1982-1992. O eixo da direita se refere ao erro médio absoluto (MAE) do modelo antes e após a correção de viés. _____ 14

Figura 3.2. Pressão à superfície (hPa) do modelo Eta-CanESM2. A linha azul representa o ciclo anual das séries observadas das estações meteorológicas selecionadas, a linha verde representa o modelo Eta-CanESM2 e a linha vermelha representa o modelo após a correção de viés. Nessas análises o período considerado foi 1982-1992. O eixo da direita se refere ao erro médio absoluto (MAE) do modelo antes e após a correção de viés. _____ 15

Figura 3.3. Radiação de onda curta incidente (W/m²) do modelo Eta-CanESM2. A linha azul representa o ciclo anual das séries observadas das estações meteorológicas selecionadas, a linha verde representa o modelo Eta-CanESM2 e a linha vermelha representa o modelo após a correção de viés. Nessas análises o período considerado foi 1980-2005. O eixo da direita se refere ao erro médio absoluto (MAE) do modelo antes e após a correção de viés. _____ 16

Figura 4.1. Índice WXx - Maior intensidade do vento máximo anual (m/s). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período *baseline* (1961-1990) 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. _____ 20

Figura 4.2. Índice WXn – Menor intensidade do vento máximo anual (m/s). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período *baseline* (1961-1990) 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 4.3. Índice WX10p - Porcentagem anual de dias com intensidade do vento máximo abaixo do 10º percentil (%). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período *baseline* (1961-1990) 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 4.4. Índice WX90p - Porcentagem anual de dias com intensidade do vento máximo acima do 90º percentil (%). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período *baseline* (1961-1990) 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 4.5. Índice PSx - Maior valor anual da pressão à superfície (hPa). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período *baseline* (1961-1990) 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 4.6. Índice PSn - Menor valor anual da pressão à superfície (hPa). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período *baseline* (1961-1990) 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 4.7. Índice PS10p - Porcentagem anual de dias com valor de pressão abaixo do 10º percentil (%). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período *baseline* (1961-1990) 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 4.8. Índice PS90p - Porcentagem anual de dias com valor de pressão acima do 90º percentil (%). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período *baseline* (1961-1990) 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 4.9. Índice OCx - Maior valor anual da radiação de onda curta incidente (W/m^2). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período *baseline* (1961-1990) 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 4.10. Índice OCn - Menor valor anual da radiação de onda curta incidente (W/m^2). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período *baseline* (1961-1990) 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 4.11. Índice OC10p - Porcentagem anual de dias com valor de radiação abaixo do 10º percentil (%). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período *baseline* (1961-1990) 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 4.12. Índice OC90p - Porcentagem anual de dias com valor de radiação acima do 90º percentil (%). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período *baseline* (1961-1990) 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

Lista de Tabelas

Tabela 2.1. Estações meteorológicas selecionadas ao longo do território brasileiro. Fonte: INMET (<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>). _____ 12

Tabela 3.1. Índices de extremos climáticos de vento máximo (WX), pressão à superfície (PS) e radiação de onda curta incidente (OC) para a estação meteorológica de São Paulo, calculados a partir dos dados observados e simulados pelo Modelo Eta-CanESM2 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* (%)._____ 17

Tabela 4.1. Lista de conjunto de dados. _____ 18

1. Introdução

A frequência e intensidade dos eventos de precipitação intensa e secas têm aumentado desde os anos de 1950 (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 tem aumentado a frequência de ocorrências (Marengo et al. 2010). Tais eventos produzem impactos socioeconômicos severos nas atividades agrícolas, de infraestrutura e de gerenciamento de recursos hídricos e energia, por exemplo.

Vale conceituar que os “eventos extremos” são aqueles que se distanciam das condições médias de uma série histórica. Esses eventos, geram interesse e preocupação na sociedade devido seu potencial em desestruturar o ambiente físico e as atividades de determinado lugar ou região, causando prejuízos às comunidades afetadas e ao poder público. É possível 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). Além do aumento dos riscos dos eventos extremos, há aumento também dos riscos de eventos singulares de grande escala, ou seja, eventos ainda não experimentados. 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. Tais projeções assinalam a necessidade de um planejamento e adequação das infraestruturas, principalmente aquelas associadas aos recursos hídricos (Dias, 2014).

Além dos eventos extremos de chuva e temperatura, há ainda que se considerar a ocorrência de extremos climáticos de vento, pressão e radiação. Apesar de pouco explorados, as estimativas dos extremos climáticos associados a estas variáveis podem ser importantes para avaliação de impacto em setores chaves. No setor de energia, por exemplo, extremos de ventos de grande

intensidade podem impactar diretamente na produção de energia oriunda da fonte eólica, diminuindo o fator de capacidade dos parques eólicos, podendo também causar desgaste prematuro e danos estruturais aos aerogeradores. Por outro lado, ventos extremos fracos podem impactar na distribuição de energia em linhas de transmissão, tendo em vista que a dissipação de calor gerado pelo efeito térmico diminui e, conseqüentemente, reduz o despacho de energia (Pes, 2015).

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 de medidas de adaptação em diversos setores socioeconômicos/ambientais. Projeções climáticas regionalizadas dos cenários de concentração dos gases de efeito estufa e suas forçantes radiativas no clima – IPCC AR5 - foram produzidas por Chou et. al (2014a e 2014b) através do modelo regional Eta. Essas projeções foram utilizadas para elaborar a Terceira Comunicação Nacional do Brasil (MCTI, 2016) e para apoiar o projeto Brasil 2040, além de terem 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 terceiro 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 vento, pressão e radiação com correção de viés utilizando o modelo Eta 20 km-CanESM2 (*baseline*, RCP4.5 e RCP8.5).

2. 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 aninhado ao modelo global CanESM2, o qual será denominado de Eta-CanESM2, e o método usado para correção de viés.

2.1 Modelo Eta-CanESM2

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 (η), 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 Viola et al. (2014), Oscar Junior et al. (2015), Tavares et al. (2017), Debortoli et al. (2017), etc. A versão do modelo utilizado na realização deste produto consiste do Eta aninhado ao modelo climático global CanESM2 na resolução horizontal de 20 km, chamado a partir de agora como Eta-CanESM2. O modelo CanESM2 (*Canadian Earth System Model Second Generation*) (Arora et al., 2011; Chylek et al., 2011) do *Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis* (CCCMA), usado como modelo condutor, é uma junção do modelo acoplado oceano-atmosfera CanCM4 com o modelo de vegetação dinâmica e ciclo do carbono terrestre CTEM (*Canadian Terrestrial Ecosystem Model*) (Arora e Boer, 2010). Detalhamentos do Eta 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

Modelos numéricos carregam erros sistemáticos (conhecido também como viés ou bias) causados pela imperfeita conceituação e parametrização dos processos atmosféricos, os quais resultam em valores que são sistematicamente mais altos ou mais baixo do que os valores observados das variáveis atmosféricas (Preston e Dietz, 1991). A princípio esses erros podem e devem ser eliminados através de técnicas de correção (Teutschbein e Seibert, 2012; Bárdossy e Pegram, 2011). A aplicação da correção de viés é altamente recomendada em estudos de impactos, uma vez que podem conduzir a resultados não realista.

No cálculo dos índices de extremos climáticos foram usados valores diários da intensidade do vento máximo (m/s), pressão à superfície (hPa) e radiação de onda curta incidente (W/m^2). O método utilizado na correção destas variáveis foi a 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 2.1 ilustra o esquema utilizado no método de Bárdossy e Pegram (2011).

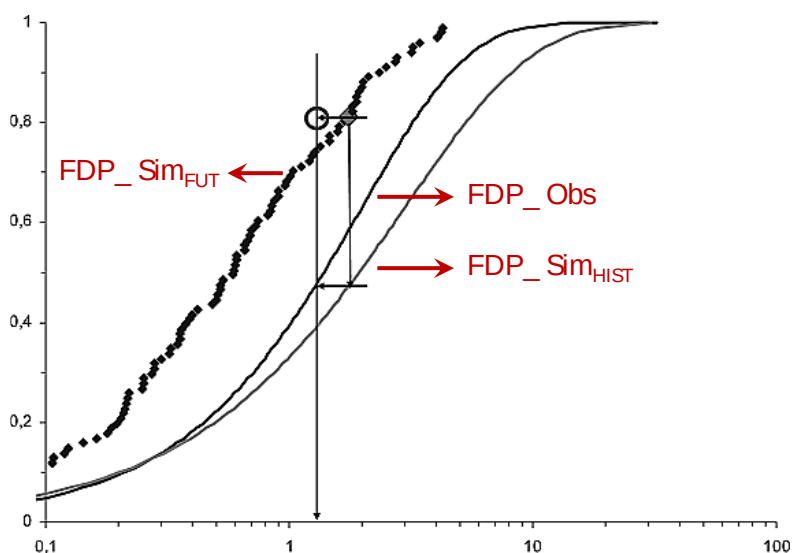


Figura 2.1. Método de correção de viés Quantil-Quantil proposto por Bárdossy e Pegram (2011). Esquematização da transformação quantil-quantil duplamente relacionado a uma função de distribuição de probabilidade cumulativa (FDP) do dado simulado por um modelo climático a uma FDP de um dado observado para 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).

No caso da radiação de onda curta incidente, foi utilizado como base observacional para correção do modelo o conjunto de radiação de onda curta disponibilizado por Xavier et al. (2016). Este conjunto é uma compilação de dados observados de estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), construído com análises de consistência e preenchimentos de falhas, além do uso do método de interpolação mais apropriado. O domínio deste conjunto cobre todo Brasil na grade regular de 25

km X 25 km, em escala temporal diária para o período 1980 a 2013. Para aplicação da correção de viés, estes dados foram interpolados na resolução horizontal do modelo Eta, ou seja, 20 km. A correção foi aplicada para todos os pontos de grade, totalizando 138.450 pontos oriundos de uma matriz de 390 x 355.

Para as demais variáveis - vento máximo diário e pressão à superfície - foi construído um conjunto agregando dados de estações meteorológicas do INMET e dados de reanálises meteorológicas do ERA-Interim (Dee et al., 2011) e CFSR (Saha et al., 2010). Essas reanálises foram escolhidas por serem de fácil acesso e por alcançaram bons resultados em estudos que comparam as diferentes reanálises com dados, por exemplo, de vento de estações meteorológicas (Liléo e Petrik, 2011; Carvalho et al., 2014, Stüker et al., 2016). Adotou-se o método de agregar reanálises mais dados de estações devido à baixa densidade de dados observados consistentes para as variáveis selecionadas e também para evitar inconsistências na interpolação espacial. Na preparação do conjunto foi incluído análise de porcentagem de falhas das séries observadas. As estações meteorológicas que possuísem mais de 40% de dados ausentes foram descartadas da base final de dados. As reanálises foram incluídas apenas nos dias que as estações meteorológicas, após a triagem dos 40% de dados faltantes, estivessem com dados ausentes. No caso da pressão à superfície, foi posto também avaliação de *outliers* através da checagem do valor do dado em relação à média climatológica de cada estação. O critério adotado foi que desvios acima e abaixo de 10 hPa fossem considerados como dados inconsistentes e, portanto, substituídos pelo valor da média climatológica.

Testes foram realizados para identificar a melhoria do conjunto após agregar as reanálises e incluir os critérios mencionados acima. Nota-se que, após a inclusão dos critérios e das reanálises, os valores máximos da pressão à superfície apresentam uma melhor consistência espacial, eliminando pontos isolados de máximos valores (Figura 2.2). Exemplos das análises das séries temporais para alguns pontos de grade seguem na Figura 2.3. Nota-se melhoria também nas séries temporais, as quais passaram a apresentar valores mais coerentes com a variação diária da pressão à superfície.

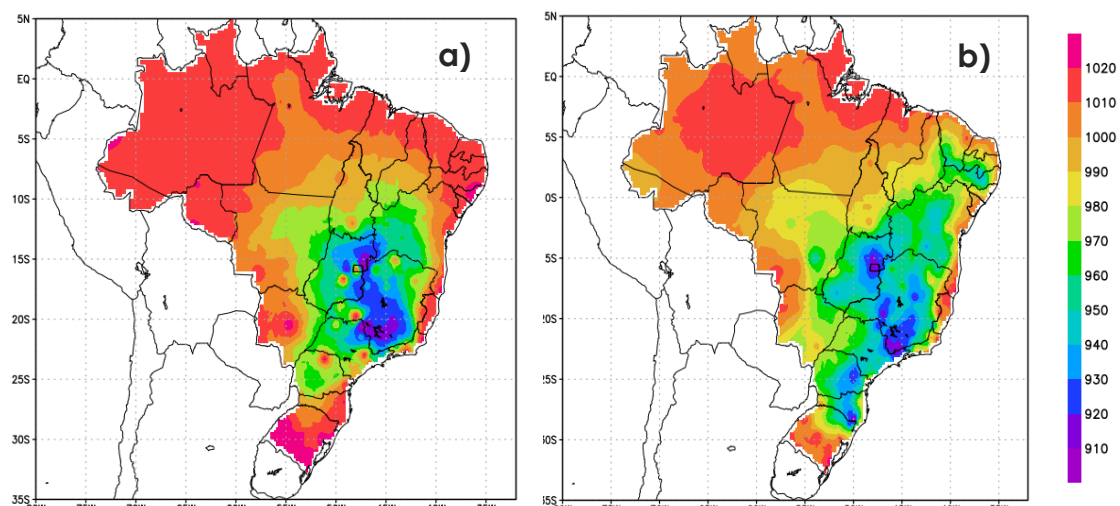


Figura 2.2. Pressão à superfície (hPa) para o período de 1982-1990 considerando as observações do INMET (a) e considerando as observações do INMET e as reanálises (b).

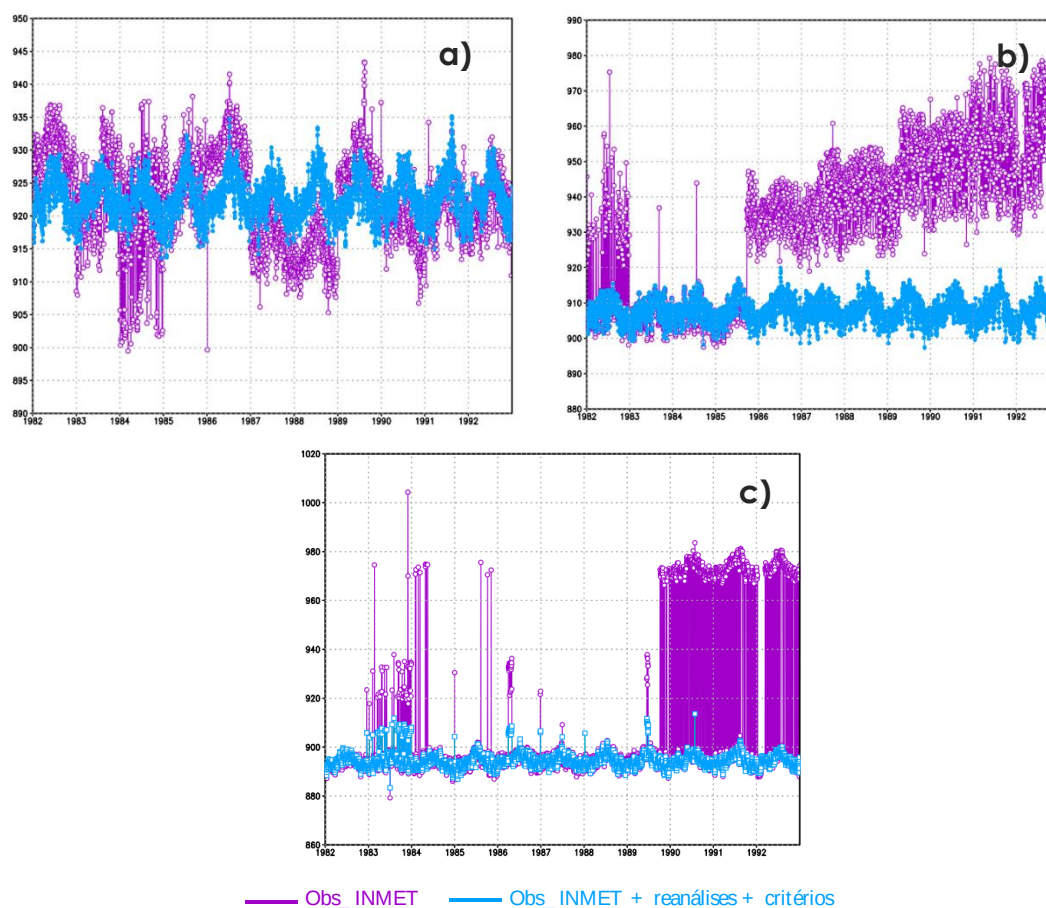


Figura 2.3. Pressão à superfície (hPa) para as estações de a) Sete Lagoas – MG, b) Curitiba – PR e c) Brasília -DF para o período de 1982-1990 considerando as observações do INMET (linha roxa) e considerando as observações do INMET e as reanálises (linha azul).

2.3 Extremos Climáticos

Os índices de extremos climáticos foram calculados adaptando 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). O pacote *ClimDex* inclui o *RclimDex*, que permite calcular o índice por ponto de estação usando o software estatístico R e o *FclimDex* que realiza cálculos a partir da matriz do modelo (Zhang e Yang, 2004). Ambos pacotes foram adaptados a partir desse projeto para gerar análises estatísticas dos valores diários de intensidade do vento máximo (m/s), pressão à superfície (hPa) e radiação de onda curta incidente (W/m²). O pacote *FclimDex* foi adequado para realizar os cálculos a partir das saídas do modelo Eta, utilizando os valores corrigidos e sem correção de viés. O pacote *RclimDex* 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 12 índices de extremos climáticos, os quais são detalhados a seguir.

2.3.1 Índices de Extremos de Vento

Foram calculados quatro índices de extremos de vento a partir dos valores diários do vento máximo (m/s), conforme dispostos a seguir:

a) WXx: Valor máximo anual do vento máximo diário (m/s)

Temos que **WXx** será o vento máximo diário no ano k , período j . O máximo vento máximo diário em cada ano é dado por:

$$WXx_{kj} = \max (WXx_{kj}) \quad \text{Eq. 1}$$

b) WXn: Valor mínimo anual do vento máximo diário (m/s)

Temos que **WXn** será o vento máximo diário no ano k , período j . O mínimo da intensidade do vento máximo diário em cada ano é dado por:

$$WXn_{kj} = \min (WXn_{kj}) \quad \text{Eq. 2}$$

- c) WX10p:** Número de dias no ano em que a intensidade do vento máximo ocorreu abaixo do 10º percentil da distribuição de vento diário (ventos máximos fracos) (%)

Seja WX_{ij} o vento máximo diário no dia i no período j , e seja WX_{in10} o dia calendário do percentil 10º centrado na janela de 5 dias para o período base 1961-2005. A percentagem do tempo para o período base é determinada por:

$$WX_{ij} < WX_{in10} \quad \text{Eq. 3}$$

- d) WX90p:** Número de dias no ano em que a intensidade do vento máximo ocorreu acima do 90º percentil da distribuição de vento diário (ventos máximos fortes) (%).

Seja WX_{ij} o vento máximo diário no dia i no período j , e seja WX_{in90} o dia calendário do percentil 90º centrado na janela de 5 dias para o período base 1961-2005. A percentagem do tempo para o período base é determinado por:

$$WX_{ij} > WX_{in90} \quad \text{Eq. 4}$$

2.3.2 Índices de Extremos de Pressão

Foram calculados quatro índices de extremos de pressão a partir dos valores diários de pressão à superfície (hPa), conforme dispostos a seguir:

- a) PSx:** Valor máximo anual da pressão média diária (hPa)

Temos que **PSx** será a pressão diária no ano k , período j . A máxima pressão diária em cada ano é dada por:

$$PS_{kj} = \max (PS_{kj}) \quad \text{Eq. 5}$$

- b) PSn:** Valor mínimo anual da pressão média diária (hPa)

Temos que **PSn** será a pressão diária no ano k , período j . A mínima pressão diária em cada ano é dada por:

$$PS_{kj} = \min (PS_{kj}) \quad \text{Eq. 6}$$

- c) PS10p:** Número de dias no ano em que a pressão ficou abaixo do 10º percentil da distribuição de pressão diária (porcentagem de dias com valores de pressão mais baixos) (%).

Seja PS_{ij} a pressão diária no dia i no período j e seja PS_{in10} o dia calendário do percentil 10º centrado na janela de 5 dias para o período base 1961-2005. A percentagem do tempo para o período base é determinada por:

$$PS_{ij} < PS_{in10} \quad \text{Eq. 7}$$

- d) PS90p:** Número de dias no ano em que a pressão ficou acima do 90º percentil da distribuição de pressão diária (porcentagem de dias com valores de pressão mais altos) (%).

Seja PS_{ij} a pressão diária no dia i no período j y seja PS_{in90} o dia calendário do percentil 90º centrado na janela de 5 dias para o período base 1961-2005. A percentagem do tempo para o período base é determinado:

$$PS_{ij} > PS_{in90} \quad \text{Eq. 8}$$

2.3.3 Índices de Extremos de Radiação

Foram calculados quatro índices de extremos de radiação a partir dos valores diários da radiação de onda curta incidente (W/m^2), conforme dispostos a seguir:

- a) OCx:** Valor máximo anual da radiação média diária (W/m^2)

Temos que **OCx** será a radiação diária no ano k , período j . A máxima radiação diária em cada ano é:

$$OCx_{kj} = \max (OC_{kj}) \quad \text{Eq. 9}$$

- b) OCn:** Valor mínimo anual da radiação média diária (W/m^2)

Temos que **OCn** será a radiação diária no ano k , período j . A mínima radiação diária em cada ano é:

$$OCn_{kj} = \min (OC_{kj}) \quad \text{Eq. 10}$$

c) OC10p: Número de dias no ano em que a radiação ficou abaixo do 10º percentil da distribuição de radiação diária (porcentagem de dias com baixa radiação) (%).

Seja OC_{ij} a radiação diária no dia i no período j e seja OC_{in10} o dia calendário do percentil 10º centrado na janela de 5 dias para o período base 1961-2005. A percentagem do tempo para o período base é determinada por:

$$OC_{ij} < OC_{in10} \quad \text{Eq. 11}$$

d) OC90p: Número de dias no ano em que a radiação ficou acima do 90º percentil da distribuição de radiação diária (porcentagem de dias com alta radiação) (%).

Seja OC_{ij} a radiação diária no dia i no período j y seja OC_{in90} o dia calendário do percentil 90º centrado na janela de 5 dias para o período base 1961-2005. A percentagem do tempo para o período base é determinado:

$$OC_{ij} > OC_{in90} \quad \text{Eq. 12}$$

2.4 Metodologia

Foram realizadas análises das variáveis de intensidade do vento máximo, pressão à superfície e radiação de onda curta incidente, antes e após aplicação da correção de viés para o clima presente. Nesta etapa foram consideradas séries históricas de 5 estações meteorológicas obtidas da base de dados do INMET (Tabela 2.1). O período de avaliação do modelo Eta antes e após a correção está condicionado ao período da série observada. Sendo assim, avaliou-se a pressão e o vento máximo para o período de 1982-1992, e a radiação para o período de 1980-2005.

Tabela 2.1. Estações meteorológicas selecionadas ao longo do território brasileiro. Fonte: INMET (<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>).

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

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 os índices calculados para o ponto de grade referente a estação de São Paulo. Além do erro médio (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 13, 14 e 15, respectivamente, descritas abaixo.

$$BIAS = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (V_i - V_{obs_i}) \quad \text{Eq.13}$$

$$MAE = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M |V_i - V_{obs_i}| \quad \text{Eq.14}$$

$$SS = \left(\frac{E_{Eta} - E_{EtaCor}}{E_{Eta}} \right) 100 \quad \text{Eq.15}$$

Onde: M é o número total das simulações, T_i é a i -ésima variável ou índice de extremo simulado, V_{obsi} 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.

Os resultados referentes à avaliação do modelo e os extremos climáticos seguem na seção 3. As projeções dos índices de extremos climáticos para os cenários RCP4.5 e RCP8.5 mostrados pelos campos da diferença em relação ao clima presente seguem na seção 4.

3. Resultados

Para avaliar a aplicação da correção de viés, foram gerados os ciclos anuais das variáveis de vento máximo (m/s), pressão (hPa) e radiação (W/m^2) das estações meteorológicas selecionadas. Nota-se que, independentemente da variável avaliada e da estação selecionada, a correção dos erros sistemáticos do modelo contribuiu significativamente na melhor representação do padrão climatológico anual, favorecendo para a redução dos erros absolutos médios em todos os meses do ano (Figuras 3.1 a 3.3). Após a correção, as séries climatológicas simuladas pelo Eta-CanESM2 passaram a ter padrão bastante similar as séries observadas, com valores de erros absolutos médios quase nulos.

Avaliações adicionais foram realizadas utilizando mais 10 estações ao longo do território brasileiro (gráficos não apresentados). Os resultados indicaram que, em geral, o método aplicado de correção de viés das variáveis de vento máximo, pressão e radiação foi eficaz no ajuste das simulações do modelo Eta-CanESM2 e que, portanto, o uso das variáveis corrigidas pode contribuir para estimativas dos extremos climáticos mais próximos das condições reais. Em seguida, foi feita uma avaliação dos índices de extremos climáticos calculados a partir das variáveis do modelo com e sem correção de viés, resultados esses que são apresentados na Tabela 3.1 e discutidos a seguir.

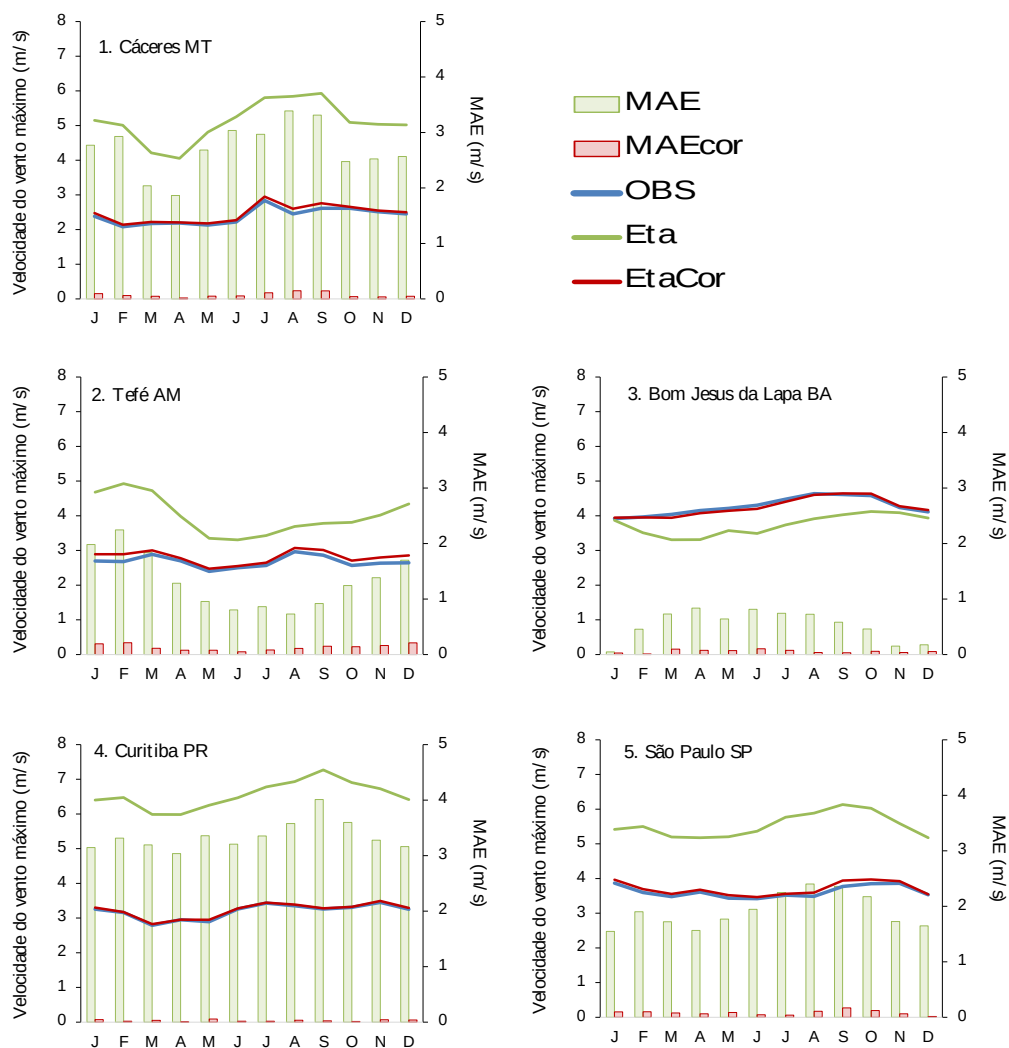


Figura 3.1. Vento máximo a 10 metros (m/s) do modelo Eta-CanESM2. A linha azul representa o ciclo anual das séries observadas das estações meteorológicas selecionadas, a linha verde representa o modelo Eta-CanESM2 e a linha vermelha representa o modelo após a correção de viés. Nessas análises o período considerado foi 1982-1992. O eixo da direita se refere ao erro médio absoluto (MAE) do modelo antes e após a correção de viés.

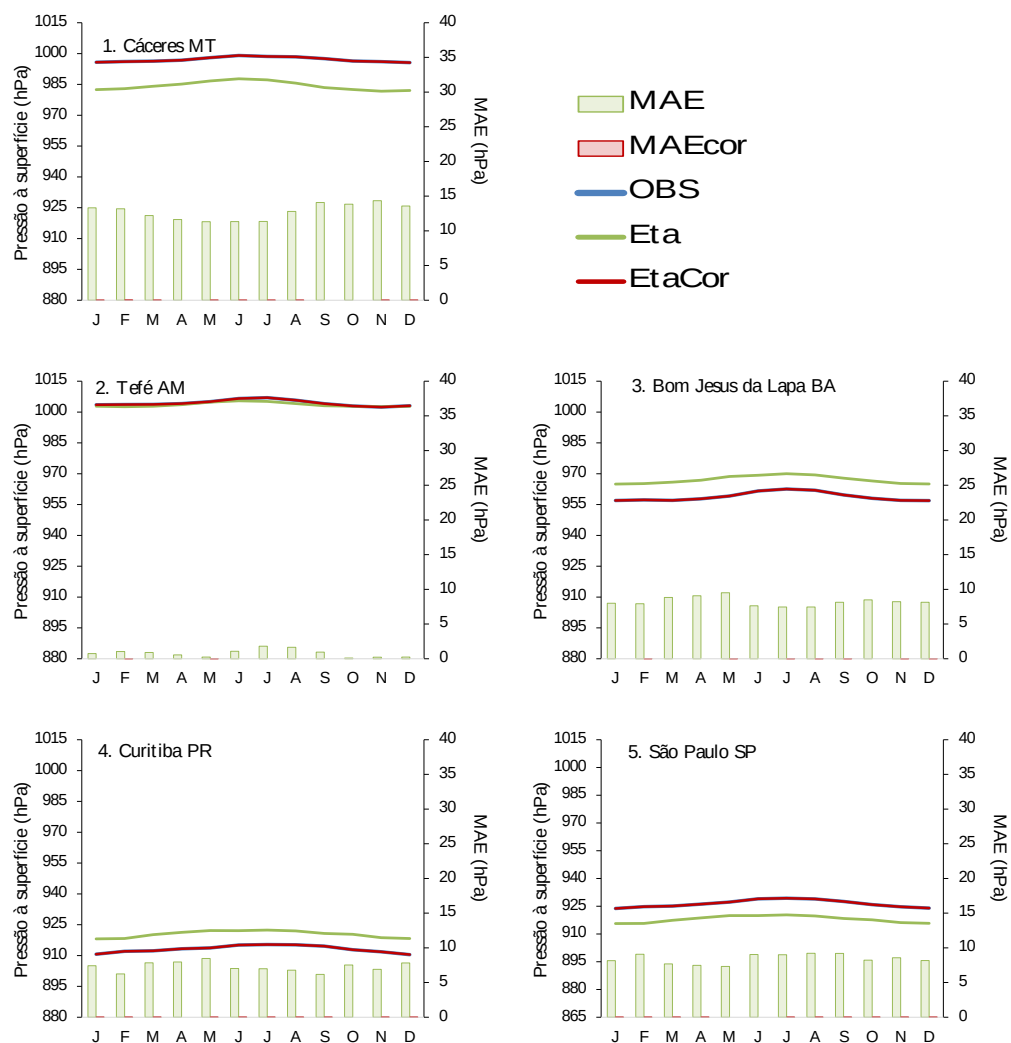


Figura 3.2. Pressão à superfície (hPa) do modelo Eta-CanESM2. A linha azul representa o ciclo anual das séries observadas das estações meteorológicas selecionadas, a linha verde representa o modelo Eta-CanESM2 e a linha vermelha representa o modelo após a correção de viés. Nessas análises o período considerado foi 1982-1992. O eixo da direita se refere ao erro médio absoluto (MAE) do modelo antes e após a correção de viés.

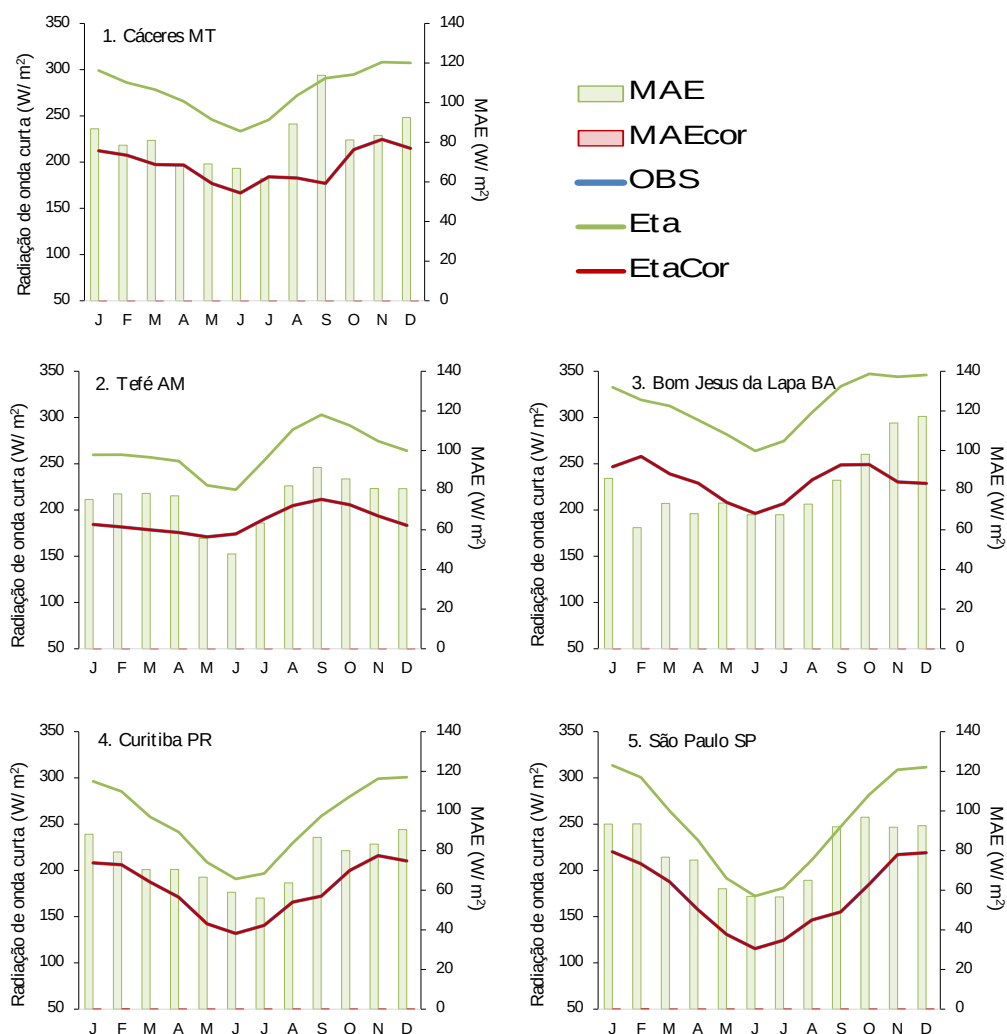


Figura 3.3. Radiação de onda curta incidente (W/m^2) do modelo Eta-CanESM2. A linha azul representa o ciclo anual das séries observadas das estações meteorológicas selecionadas, a linha verde representa o modelo Eta-CanESM2 e a linha vermelha representa o modelo após a correção de viés. Nessas análises o período considerado foi 1980-2005. O eixo da direita se refere ao erro médio absoluto (MAE) do modelo antes e após a correção de viés.

Na Tabela 3.1, estão apresentados os índices de extremos climáticos da localidade da estação de São Paulo para o período de 1982-1992. Essa estação foi selecionada por possuir séries históricas mais consistentes. Nota-se que, para os extremos calculados a partir dos valores absolutos das variáveis, a saber: WXx, WXn, PSx, PSn, OCx e OCn, o ganho da aplicação do método de correção pode ser visto em todos os índices. Em relação aos extremos calculados a partir de percentil, a saber: WX10p, WX90p, PS10p, PS90p, OC10p e OC90p, os quais mostram os eventos mais extremos (valores mínimos – percentil 10 e máximos – percentil 90) da curva da distribuição de frequência apresentaram ganhos em relação aos valores não corrigidos para os índices WX90p, PS90p e OC10p.

Resumindo, pode-se notar que, em geral, os índices de extremos climáticos calculados a partir de variáveis corrigidas do modelo Eta aninhado ao CanESM2 apresentaram menores erros e que, portanto, o uso destes índices pode contribuir melhor para estudos de impactos tendo em vista que apresentam menores erros na simulação dos extremos climáticos.

Tabela 3.1. Índices de extremos climáticos de vento máximo (WX), pressão à superfície (PS) e radiação de onda curta incidente (OC) para a estação meteorológica de São Paulo, calculados a partir dos dados observados e simulados pelo Modelo Eta-CanESM2 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* (%).

	Índices	Obs	Eta 20km	EtaCor 20km	BIAS Eta	BIAS EtaCor	MAE Eta	MAE EtaCor	SS BIAS	SS MAE
Vento	WXx	8,6	12,5	10,2	3,9	1,6	3,9	2,0	59	48
	WXn	1,0	2,4	0,9	1,4	-0,1	1,4	0,3	106	77
	WX10p	10,5	9,5	9,2	-0,6	-1,0	5,6	5,6	-56	0
	WX90p	11,3	8,8	9,4	-2,5	-1,9	10,7	11,3	11,3	8,8
Pressão	PSx	934,5	938,3	934,6	3,7	0,1	3,7	0,7	98	80
	PSn	918,4	921,7	918,6	3,3	0,2	3,3	0,9	93	74
	PS10p	11,7	8,8	8,8	-3,0	-2,9	4,3	4,4	1	-2
	PS90p	11,9	9,8	9,9	-2,1	-2,0	6,7	6,7	2	0
Radiação	OCx	322,2	395,2	323,3	73,0	1,1	73,0	17,9	99	75
	OCn	67,1	66,1	67,3	-1,0	0,2	8,7	2,7	123	69
	OC10p	10,5	10,0	10,1	-0,5	-0,5	2,9	2,9	10	1
	OC90p	10,4	9,5	9,6	-0,9	-0,8	4,5	4,6	4	-1

4. Produtos disponibilizados

Estão listados na Tabela 4.1 os conjuntos de dados calculados e processados por esta consultoria – Produto 03. São apresentados apenas os produtos finais gerados, que consistem os índices de extremos climáticos calculados a partir das simulações e projeções do modelo Eta-CanESM2 em 20 km com correção de viés.

Tabela 4.1. Lista de conjunto de dados.

Conjunto de dados	Área de abrangência e ano	Unidade	Descrição
Índice WXx	Brasil: - Historical - 1961 a 2005 - RCP4.5 – 2006 a 2099 - RCP8.5 – 2006 a 2099	m/s	Maior intensidade do vento máximo anual calculado a partir do vento máximo diário
Índice WXn	Brasil: - Historical - 1961 a 2005 - RCP4.5 – 2006 a 2099 - RCP8.5 – 2006 a 2099	m/s	Menor intensidade do vento máximo anual calculado a partir do vento máximo diário
Índice WX10p	Brasil: - Historical - 1961 a 2005 - RCP4.5 – 2006 a 2099 - RCP8.5 – 2006 a 2099	%	Porcentagem anual de dias com intensidade do vento máximo abaixo do 10º percentil calculado a partir do vento máximo diário.
Índice WX90p	Brasil: - Historical - 1961 a 2005 - RCP4.5 – 2006 a 2099 - RCP8.5 – 2006 a 2099	%	Porcentagem anual de dias com intensidade do vento máximo acima do 90º percentil calculado a partir do vento máximo diário.
Índice PSx	Brasil: - Historical - 1961 a 2005 - RCP4.5 – 2006 a 2099 - RCP8.5 – 2006 a 2099	hPa	Maior valor anual da pressão à superfície calculado a partir da média diária.
Índice PSn	Brasil: - Historical - 1961 a 2005 - RCP4.5 – 2006 a 2099 - RCP8.5 – 2006 a 2099	hPa	Menor valor anual da pressão à superfície calculado a partir da média diária.
Índice PS10p	Brasil: - Historical - 1961 a 2005 - RCP4.5 – 2006 a 2099 - RCP8.5 – 2006 a 2099	%	Porcentagem anual de dias com valor de pressão abaixo do 10º percentil calculado a partir da média diária da pressão à superfície
Índice PS90p	Brasil: - Historical - 1961 a 2005 - RCP4.5 – 2006 a 2099 - RCP8.5 – 2006 a 2099	%	Porcentagem anual de dias com valor de pressão acima do 90º percentil calculado a partir da média diária da pressão à superfície
Índice OCx	Brasil: - Historical - 1961 a 2005 - RCP4.5 – 2006 a 2099 - RCP8.5 – 2006 a 2099	W/m²	Maior valor anual da radiação de onda curta incidente calculado a partir da média diária.
Índice OCn	Brasil: - Historical - 1961 a 2005 - RCP4.5 – 2006 a 2099 - RCP8.5 – 2006 a 2099	W/m²	Menor valor anual da radiação de onda curta incidente calculado a partir da média diária.
Índice OC10p	Brasil: - Historical - 1961 a 2005 - RCP4.5 – 2006 a 2099 - RCP8.5 – 2006 a 2099	%	Porcentagem anual de dias com valor de radiação abaixo do 10º percentil calculado a partir da média diária da radiação de onda curta incidente
Índice OC90p	Brasil: - Historical - 1961 a 2005 - RCP4.5 – 2006 a 2099 - RCP8.5 – 2006 a 2099	%	Porcentagem anual de dias com valor de radiação acima do 90º percentil calculado a partir da média diária da radiação de onda curta incidente

Os campos espaciais dos índices de extremos climáticos para o período *baseline* e para as projeções das mudanças para cada cenário RCP são dispostos nas Figuras 4.1 a 4.12. Os resultados obtidos a partir dos indicadores de extremos climáticos do vento indicam tendência de aumento da intensidade

dos menores (WXn) e maiores valores dos ventos máximos (WXx) em grande parte da região Norte-Nordeste do Brasil. Tais aumentos são notados mais significativamente a partir de 2041-2070, com sinal mais intenso no último timeslice (2071-2099) do cenário de alta concentração de CO₂ (RCP8.5).

Em relação aos extremos climáticos de pressão à superfície, verifica-se uma tendência de aumento dos valores máximos (PSx) e mínimos (PSn), principalmente nas regiões sul, sudeste e nordeste e redução em partes da região Norte, especialmente no estado do Amazonas, quando considerado o final do século XXI do cenário RCP8.5. Quanto aos extremos de radiação de onda curta incidente nota-se tendências variáveis ao longo do território brasileiro. Nota-se tendência de aumento dos valores máximos (OCx) entre a região amazônica e os estados do Mato Grosso do Sul, Goiás e Minas Gerais, principalmente em 2071-2100 do cenário RCP8.5. Nas demais regiões é notado tendência de redução destes valores. Quanto aos valores mínimos da radiação de onda curta (OCn), verifica-se aumento em grande parte do território nacional, excetuando apenas a região sul da Amazônia e o estado do Acre e a região sul do Brasil.

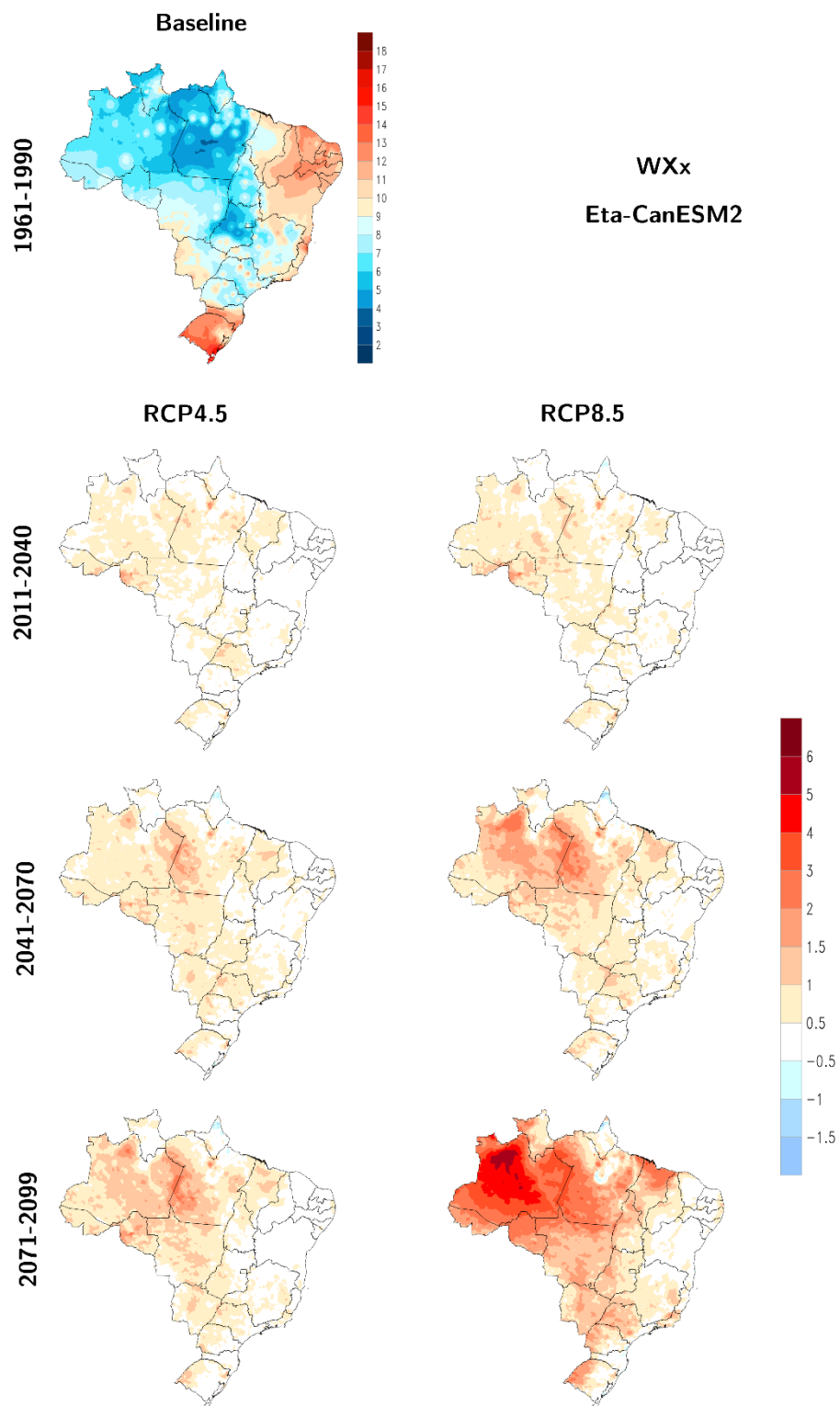


Figura 4.1. Índice WXx - Maior intensidade do vento máximo anual (m/s). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período *baseline* (1961-1990) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.

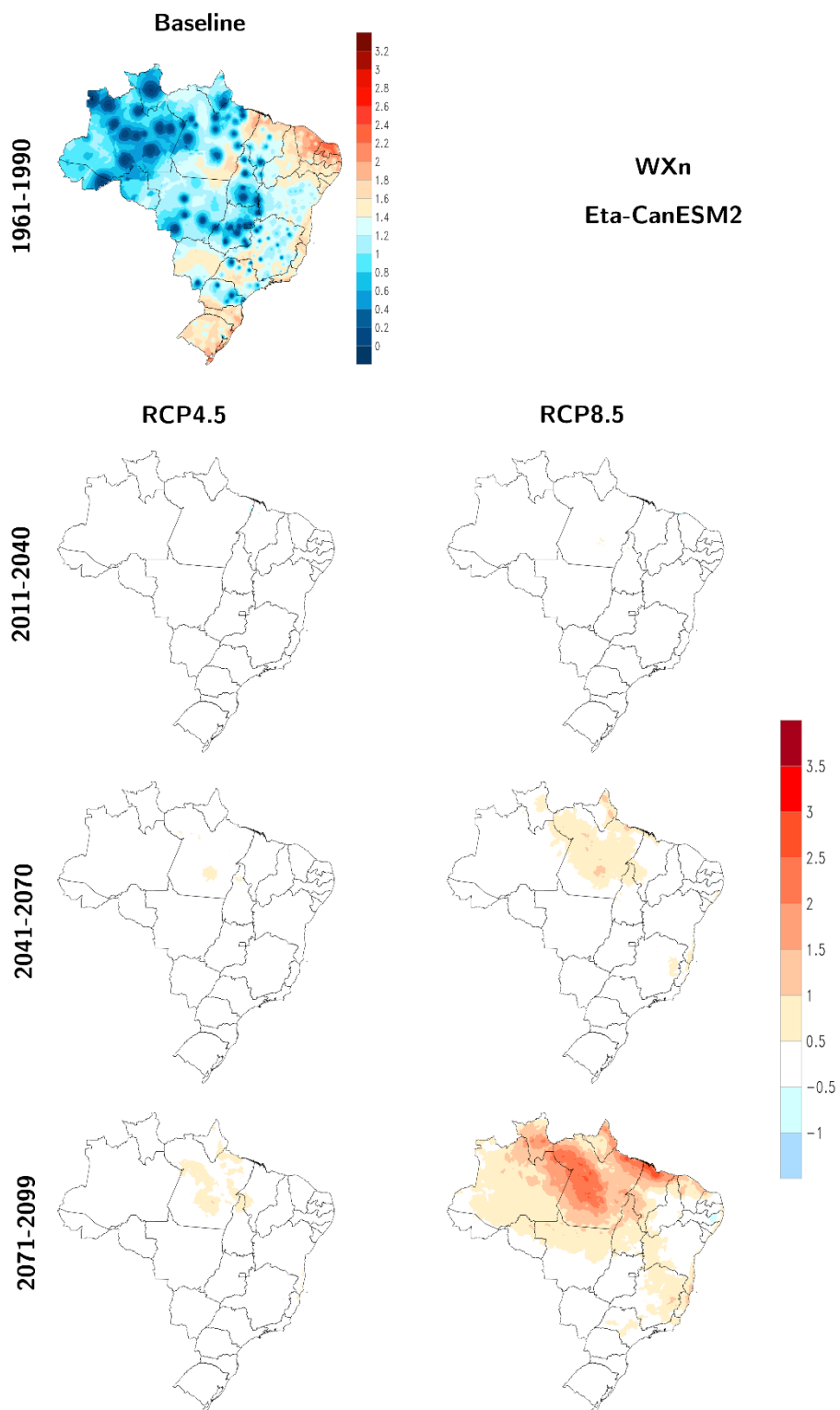


Figura 4.2. Índice WXn – Menor intensidade do vento máximo anual (m/s). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período *baseline* (1961-1990) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.

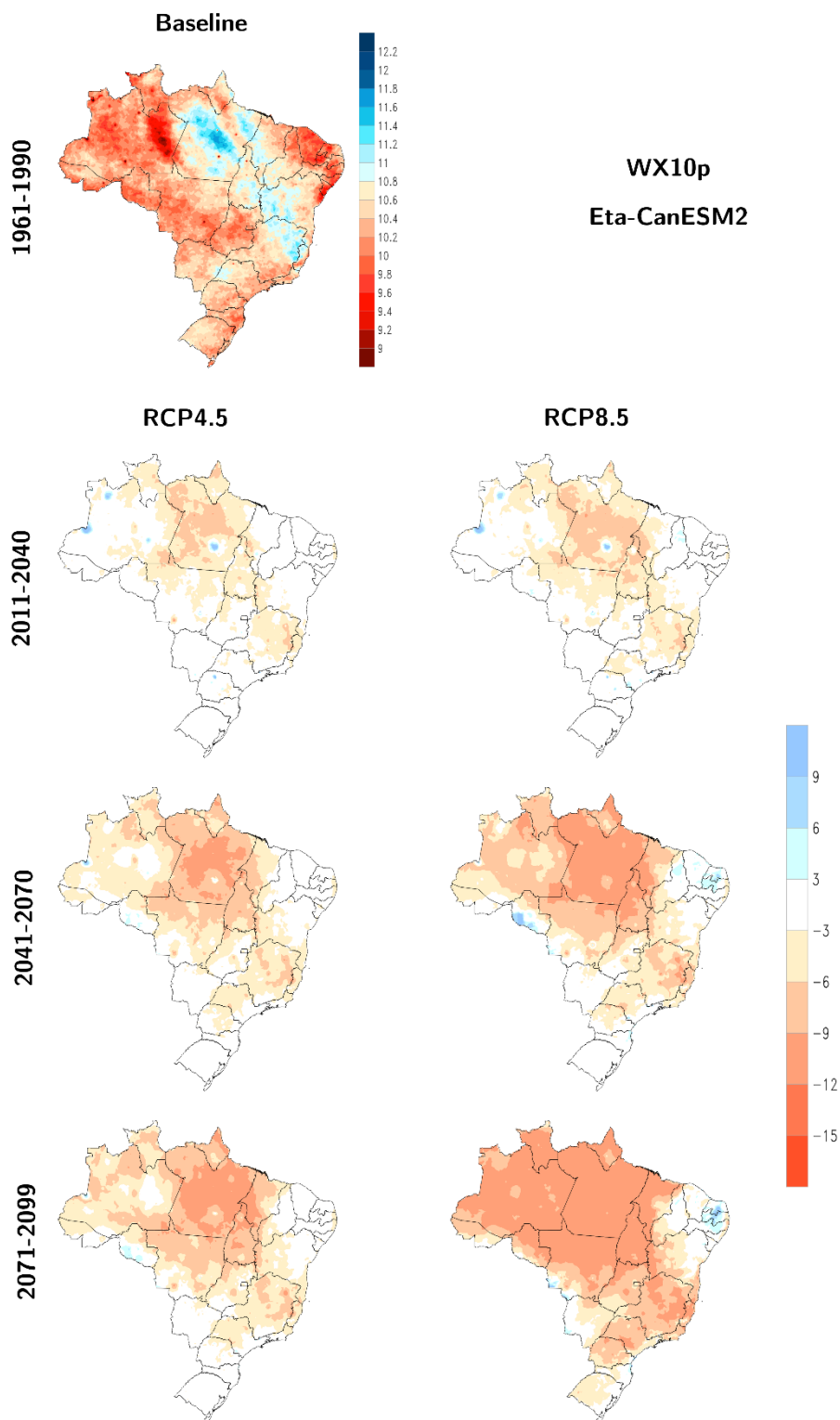


Figura 4.3. Índice WX10p - Porcentagem anual de dias com intensidade do vento máximo abaixo do 10º percentil (%). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período *baseline* (1961-1990) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários 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.

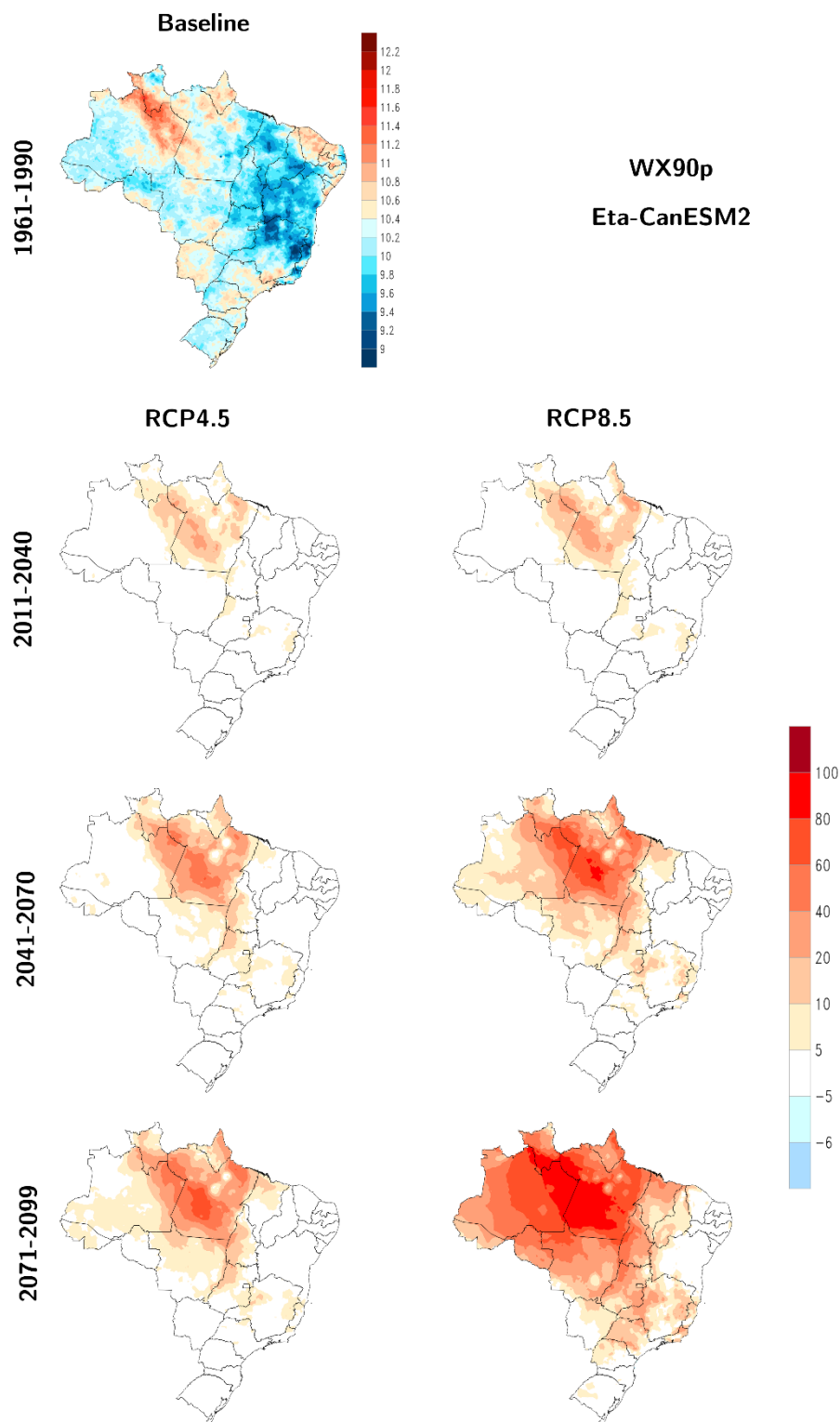


Figura 4.4. Índice WX90p - Porcentagem anual de dias com intensidade do vento máximo acima do 90º percentil (%). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período *baseline* (1961-1990) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários 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.

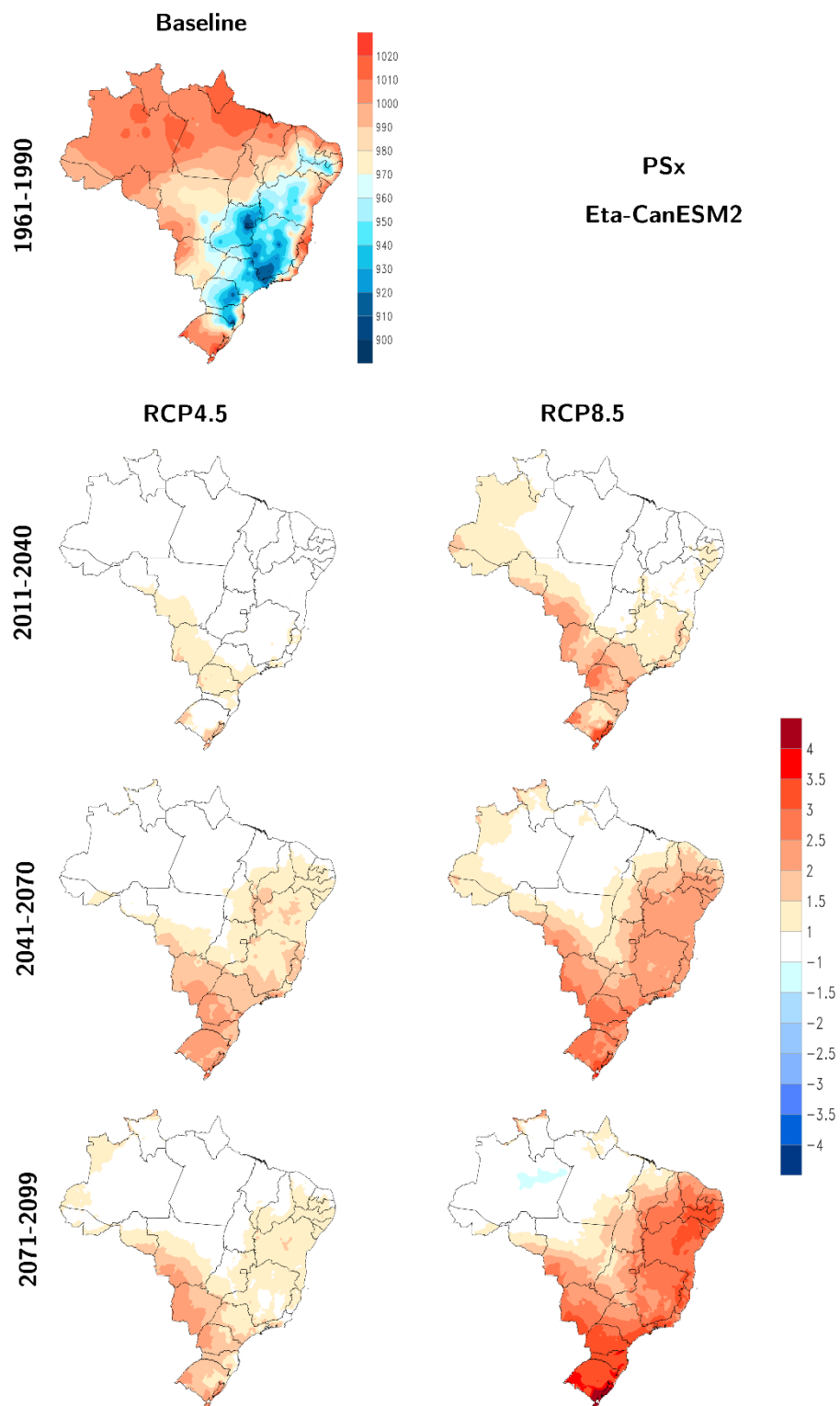


Figura 4.5. Índice PSx - Maior valor anual da pressão à superfície (hPa). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período *baseline* (1961-1990) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.

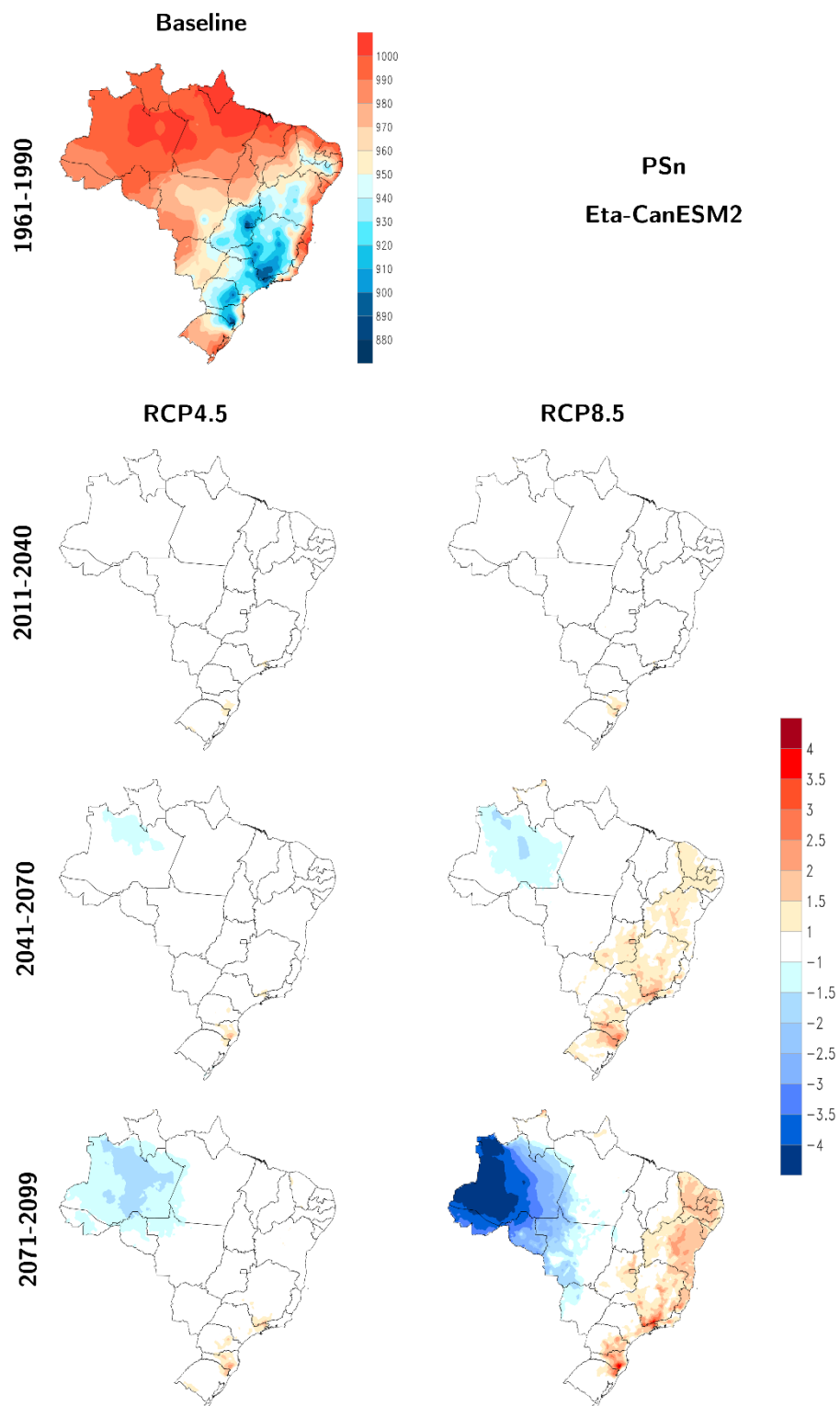


Figura 4.6. Índice PSn - Menor valor anual da pressão à superfície (hPa). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período *baseline* (1961-1990) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.

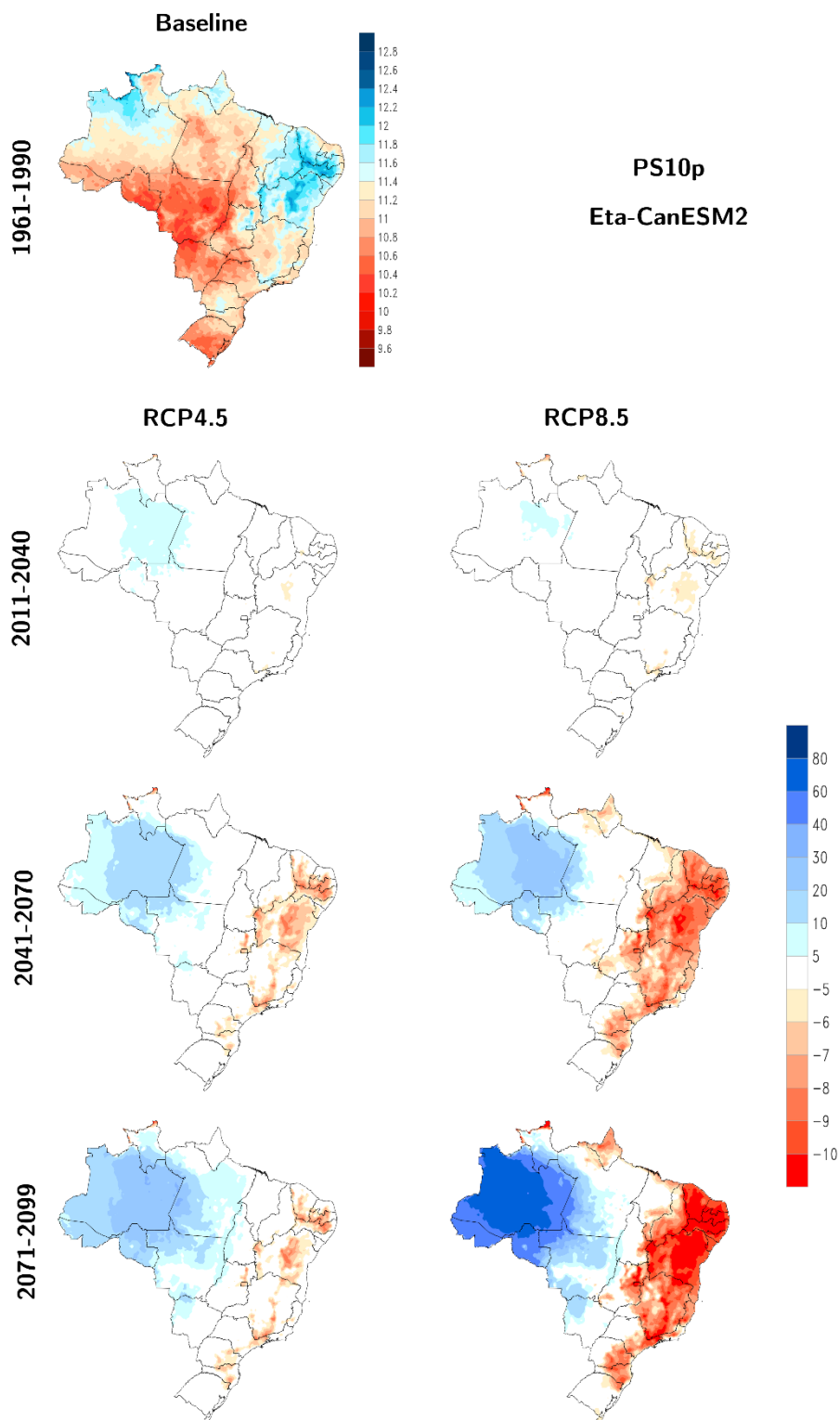


Figura 4.7. Índice PS10p - Porcentagem anual de dias com valor de pressão abaixo do 10º percentil (%). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período *baseline* (1961-1990) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.

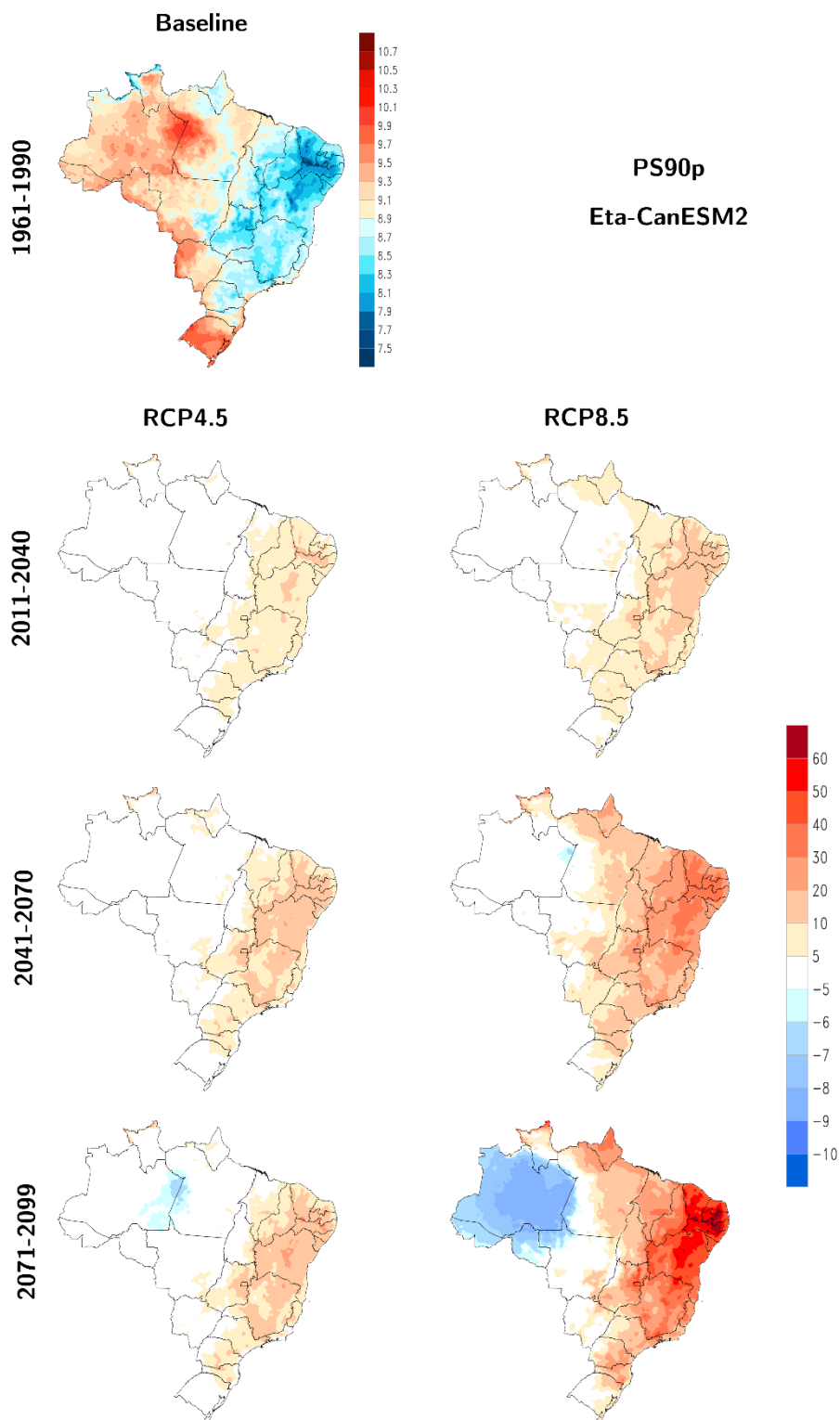


Figura 4.8. Índice PS90p - Porcentagem anual de dias com valor de pressão acima do 90º percentil (%). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período *baseline* (1961-1990) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.

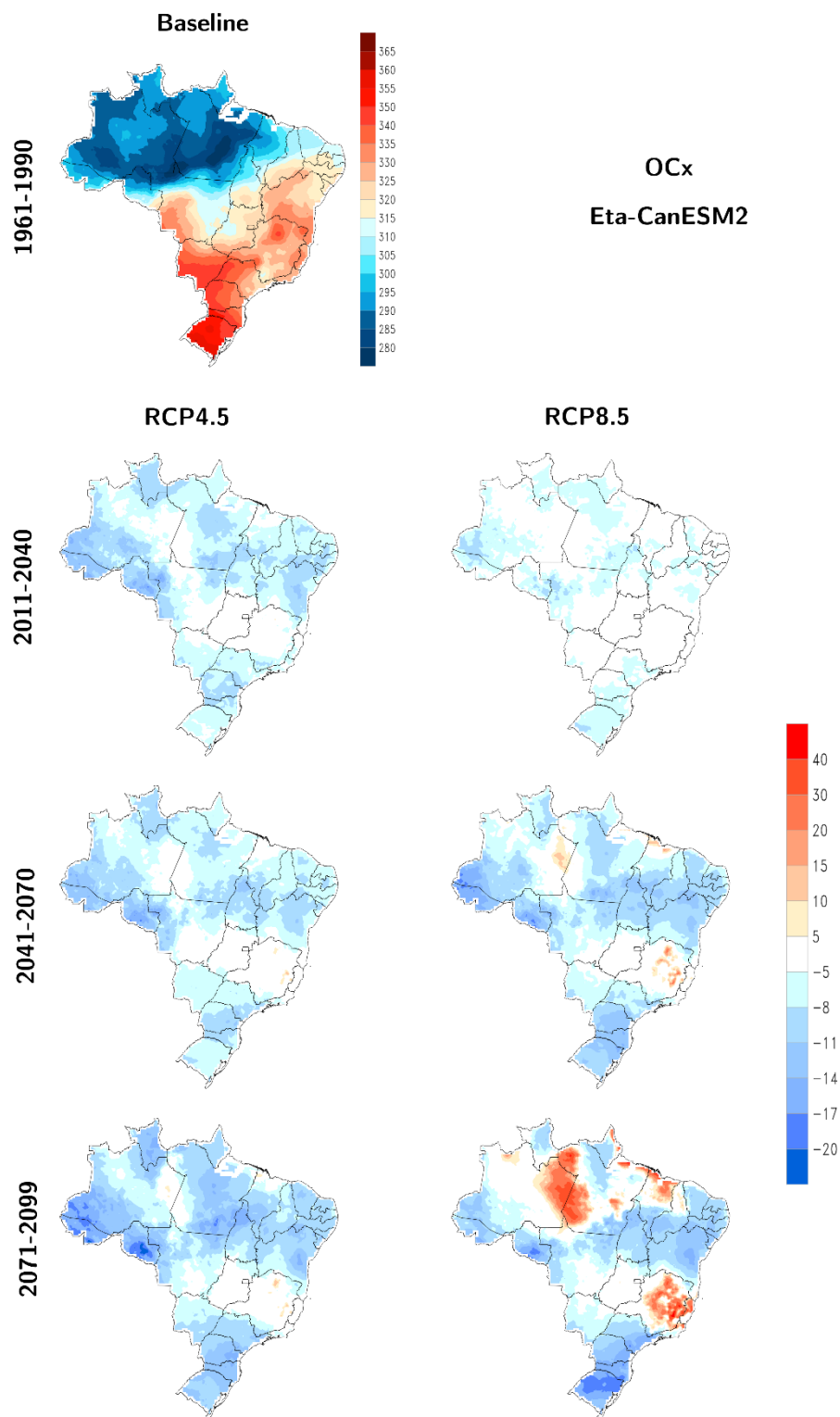


Figura 4.9. Índice OCx - Maior valor anual da radiação de onda curta incidente (W/m^2). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período *baseline* (1961-1990) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.

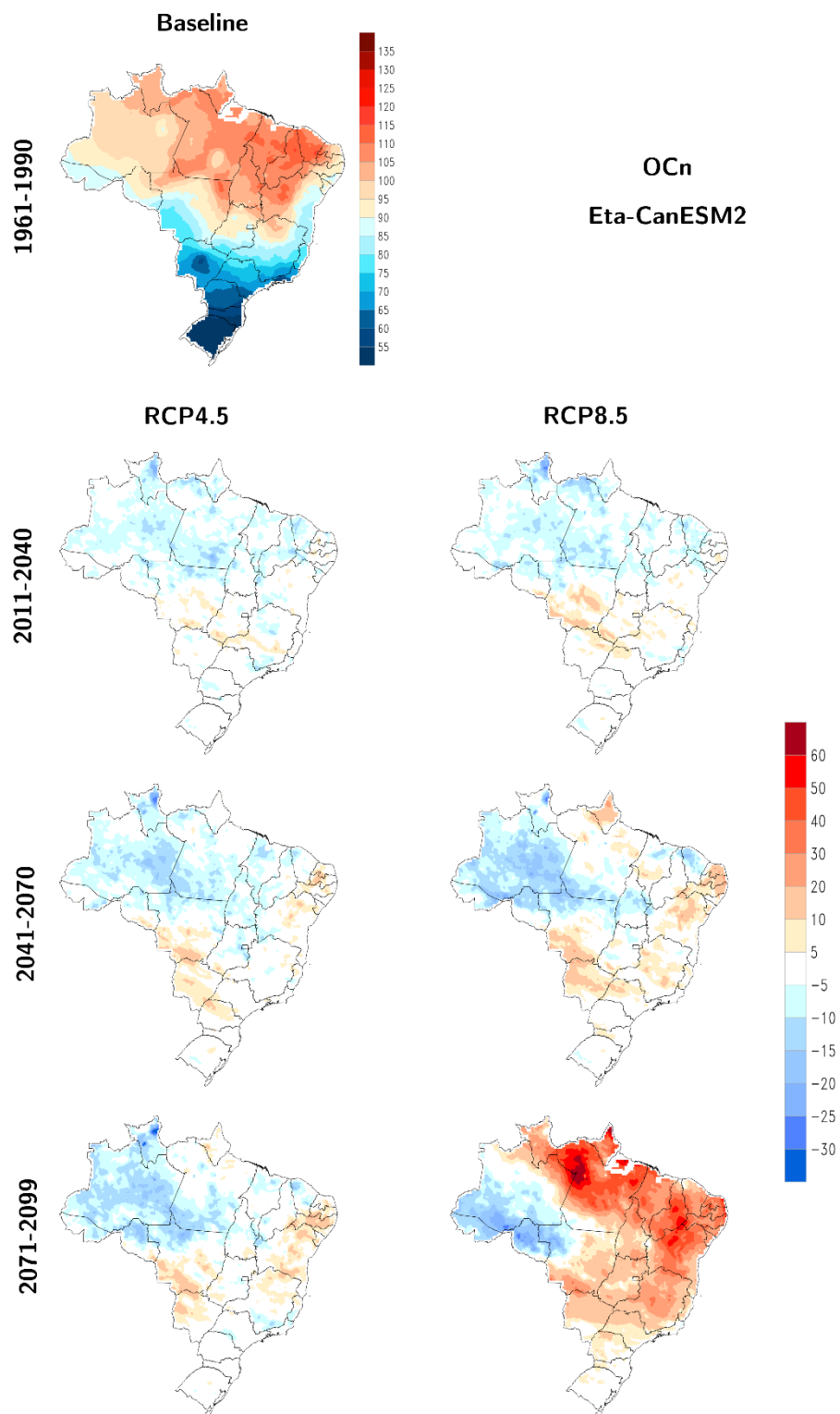


Figura 4.10. Índice OCn – Menor valor anual da radiação de onda curta incidente (W/m^2). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período *baseline* (1961-1990) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.

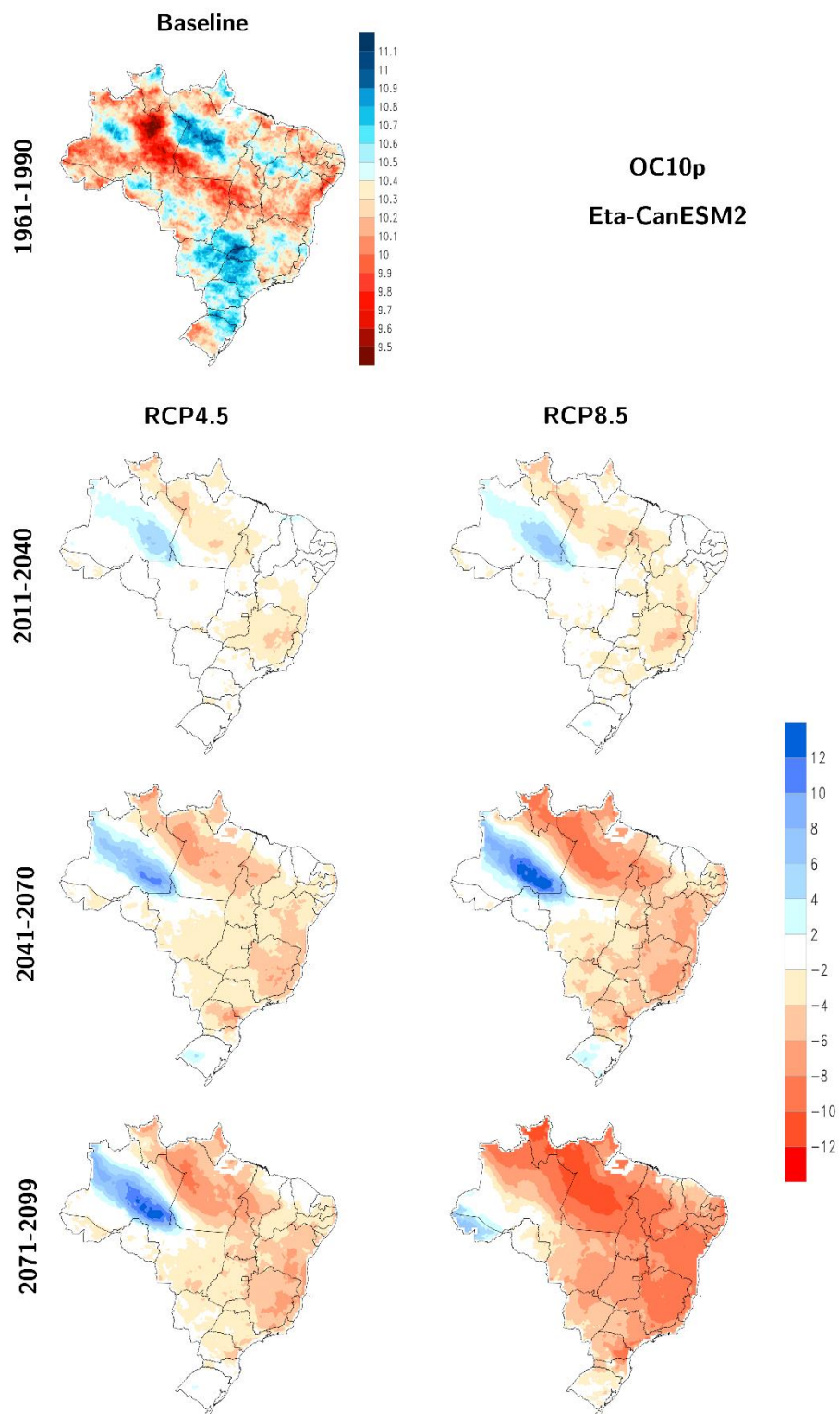


Figura 4.11. Índice OC10p - Porcentagem anual de dias com valor de radiação abaixo do 10º percentil (%). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período *baseline* (1961-1990) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros 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.

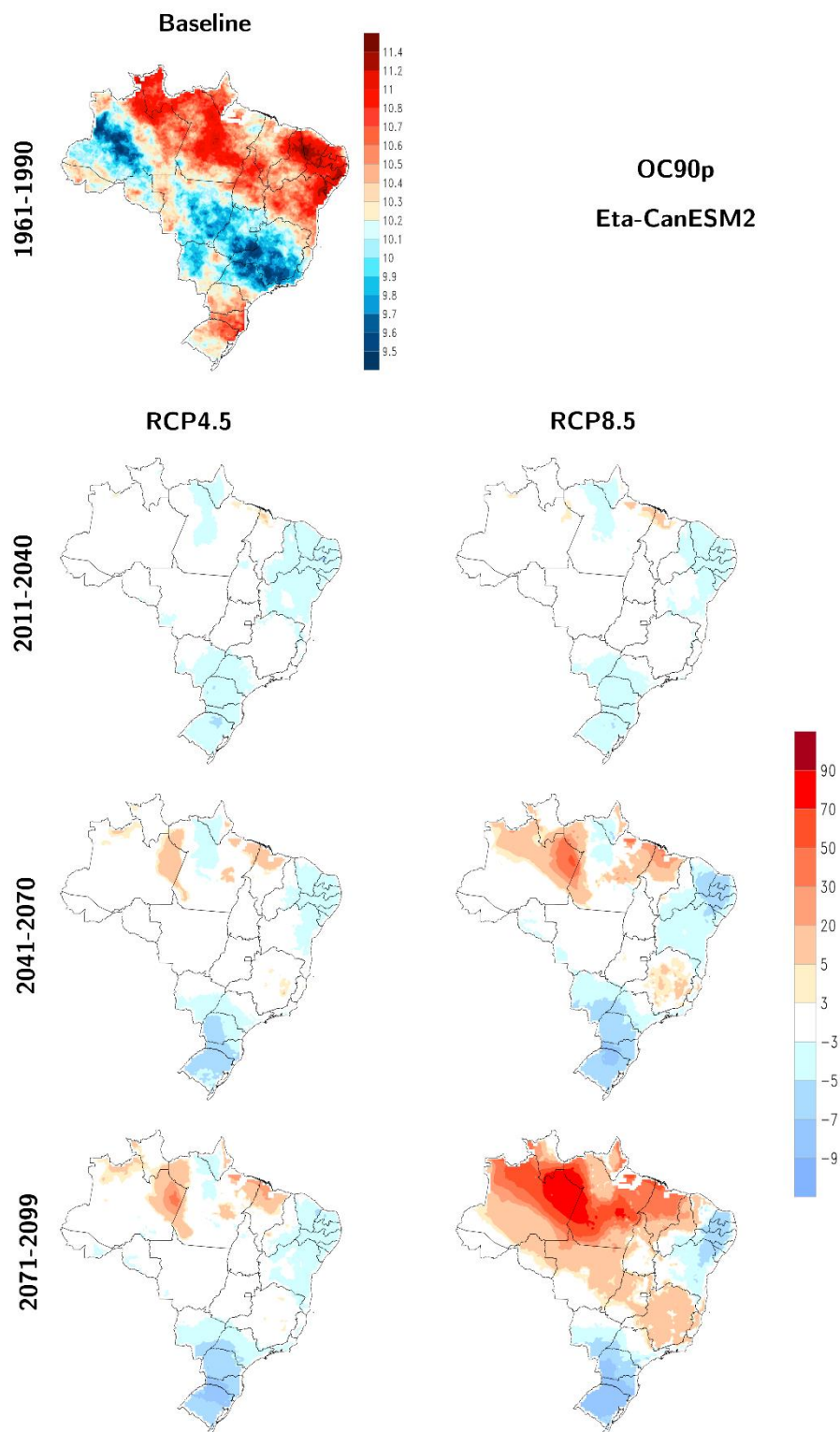


Figura 4.12. Índice OC90p - Porcentagem anual de dias com valor de radiação acima do 90º percentil (%). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período *baseline* (1961-1990) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros 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. Próximas etapas

Na próxima etapa será apresentado o relatório demonstrando o carregamento dos índices de extremos climáticos gerados nesse produto no banco de dados via plataforma PROJETA (<https://projeta.cptec.inpe.br/>).

6. Síntese e considerações finais

O objetivo deste produto consistiu dos cálculos dos extremos climáticos a partir das variáveis de vento máximo (m/s), pressão à superfície (hPa) e radiação de onda curta (W/m²) com correção de viés utilizando o modelo Eta-CanESM2 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 pelos 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. O uso e aplicação dos índices de extremos com correção de viés podem contribuir enormemente para 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)
- CARVALHO, D., ROCHA, A., GÓMEZ-GESTEIRA, M.; SANTOS, C. S. WRF wind simulation and wind energy production estimates forced by different reanalyses: Comparison with observed data for Portugal. **Applied Energy**, v. 117, p. 116-126, 2014.
- 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.

DEBORTOLI, N. S.; CAMARINHA, P. I. M.; MARENGO, J. A.; RODRIGUES, R. R. An index of Brazil's vulnerability to expected increases in natural flash flooding and landslide disasters in the context of climate change. **Natural Hazards**, v. 86, n. 2, p. 557-582, 2017.

DEE, D.; UPPALA, S.; SIMMONS, A.; BERRISFORD, P.; POLI, P.; KOBAYASHI, S.; ANDRAE, U.; BALMASEDA, M.; BALSAMO, G.; BAUER, P., et al. The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. **Quarterly Journal of the royal meteorological society**, v. 137, n. 656, p. 553-597, 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.

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.

IPCC, 2014: **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** [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1132 pp

LILÉO, SÓNIA; PETRIK, OLGA. Investigation on the use of NCEP/NCAR, MERRA and NCEP/CFSR reanalysis data in wind resource analysis. **Sigma**, v. 1, n. 2, 2000.

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

OSCAR JUNIOR, A.; SILVA, W. L.; RUFFATO, V.; BARRETO, R.; FREITAS, M. Evaluation of Renewable Energy Vulnerability to Climate Change in Brazil: A Case Study of Biofuels and Solar Energy. **Smart Grid and Renewable Energy**, v. 6, n. 08, p. 221, 2015.

PES, M. P. **Impactos das variações e mudanças climáticas sobre os ventos extremos e seus efeitos no setor elétrico brasileiro**. Tese de doutorado. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. 2015.

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

PRESTON, D.W.; DIETZ, E.R. **The Art of Experimental Physics**. Ed: John Wiley & Sons. Nova York, 1991.

SAHA, S. et al. The NCEP climate forecast system reanalysis. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 91, p. 1015-1057, 2010.

- STÜKER, E. et al. Comparação entre os dados de vento das reanálises meteorológicas ERA-Interim e CFSR com os dados das estações automáticas do INMET no Rio Grande do Sul. **Ciência e Natura**, v. 38, 2016.
- 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. Is bias correction of regional climate model (RCM) simulations possible for non-stationary conditions? **Hydrol. Earth Syst. Sci.**, v.17, p. 5061–5077, 2013.
- VIOLA, M. R.; DE MELLO, C. R.; CHOU, S. C.; YANAGI, S. N.; GOMES, J. L. Assessing climate change impacts on Upper Grande River Basin hydrology, Southeast Brazil. **International Journal of Climatology**. 2014. DOI: 10.1002/joc.4038.
- XAVIER, A. C.; KING, C. W.; SCANLON, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013). **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 6, p. 2644-2659, 2016.
- 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.

