

**Levantamento de impactos e riscos climáticos sobre a  
infraestrutura federal de transportes terrestres (rodoviário e  
ferroviário) existente e projetada**

**PRODUTO 3 – RELATÓRIO DE IDENTIFICAÇÃO DAS AMEAÇAS CLIMÁTICAS**

Dezembro de 2021

Consultoria: Associação GITEC/COPPE

**REVISÕES**

| DATA       | AUTOR                  | VERSÃO |
|------------|------------------------|--------|
| 29/10/2021 | ASSOCIAÇÃO GITEC/COPPE | 1.0    |
| 09/12/2021 | ASSOCIAÇÃO GITEC/COPPE | 2.0    |
| 06/01/2021 | ASSOCIAÇÃO GITEC/COPPE | 3.0    |

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1</b> – Perguntas de Charron para customização das informações climáticas. ....  | 9  |
| <b>Figura 2</b> – Mapas da distribuição atual do índice climático R20mm, as potenciais anomalias futuras e a tendência (a área riscada/hachurada significa que a tendência não é estatisticamente significativa) .....               | 21 |
| <b>Figura 2</b> – Mapas da distribuição atual do índice climático R20mm, as potenciais anomalias futuras e a tendência (a área riscada/hachurada significa que a tendência não é estatisticamente significativa). (continuação)..... | 22 |

## LISTA DE QUADROS

|  |    |
|--|----|
| <b>Quadro 1</b> – Sinais Climáticos sintetizados a partir da análise das cadeias de impacto da Etapa 2. ....                                 | 9  |
| <b>Quadro 2</b> – Índices climáticos usados para eventos climáticos extremos que desencadeiam inundações e deslizamentos na literatura. .... | 14 |
| <b>Quadro 3</b> – Índices climáticos selecionados para os impactos priorizados nas rodovias e ferrovias. ....                                | 19 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabela 1</b> – Total de ocorrências para cada sinal climático reportado pelas concessionárias rodoviárias e DNIT. ....           | 12 |
| <b>Tabela 2</b> – Total de ocorrências para cada sinal climático reportado pelas concessionárias ferroviárias. ....                 | 12 |
| <b>Tabela 3</b> – Relação entre ocorrência de impacto de precipitação e registro de chuvas para rodovias. ....                      | 15 |
| <b>Tabela 4</b> – Média, Mínima e Máxima para os dias de chuvas observadas e registradas pelas Concessionárias para rodovias.....   | 16 |
| <b>Tabela 5</b> – Relação entre ocorrência de impactos biofísicos e registro de chuvas para rodovias.....                           | 16 |
| <b>Tabela 6</b> – Relação entre ocorrência de impacto de precipitação e registro de chuvas para ferrovias. ....                     | 17 |
| <b>Tabela 7</b> – Média, Mínima e Máxima para os dias de chuvas observadas e registradas pelas Concessionárias para ferrovias. .... | 17 |
| <b>Tabela 8</b> – Relação entre ocorrência de impactos biofísicos e registro de chuvas para ferrovias. ....                         | 18 |

## LISTA DE SIGLAS

|               |   |
|---------------|---|
| <b>ANTT</b>   | Agência Nacional de Transportes Terrestres                        |
| <b>AR6</b>    | <i>Sixth Assessment Report</i>                                    |
| <b>Bast</b>   | <i>Bundesanstalt für Straßenwesen</i>                             |
| <b>CHIRPS</b> | <i>Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Stations</i> |
| <b>CMIP</b>   | <i>Coupled Model Intercomparison Project</i>                      |
| <b>CPC</b>    | <i>Climate Prediction Center</i>                                  |
| <b>DNIT</b>   | Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes            |
| <b>ETCCDI</b> | <i>Expert Team on Climate Change Detection and Indices</i>        |
| <b>GEE</b>    | Gases de Efeito Estufa  |
| <b>GIZ</b>    | <i>Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit</i>    |
| <b>HWDI</b>   | <i>Heat Wave Duration Index</i>                                   |
| <b>IPCC</b>   | <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>                  |
| <b>MCTI</b>   | Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações                     |
| <b>Minfra</b> | Ministério da Infraestrutura                                      |
| <b>mm/dia</b> | Milímetro por dia   |
| <b>mm/h</b>   | Milímetro por hora  |
| <b>PARF</b>   | Plano de Adaptação de Rodovias Federais                           |
| <b>PN</b>     | Perguntas Norteadoras   |
| <b>PNL</b>    | Plano Nacional de Logística                                       |
| <b>PREC</b>   | Precipitação  |
| <b>RCP</b>    | <i>Representative Concentration Pathway</i>                       |
| <b>SSP</b>    | <i>Shared Socioeconomic Pathways</i>                              |
| <b>TdR</b>    | Termo de Referência   |
| <b>TMAX</b>   | Temperatura máxima  |
| <b>TMáxAr</b> | Temperatura máxima do ar  |
| <b>TMIN</b>   | Temperatura mínima  |
| <b>VALEC</b>  | VALEC Engenharia, Construções e Ferrovias S.A.                    |
| <b>WCRP</b>   | <i>World Climate Research Programme</i>                           |

**ÍNDICE**

|  |    |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO  | 6  |
| 2. OBJETIVO  | 6  |
| 3. MATERIAIS E MÉTODOS   | 7  |
| 3.1 Demanda  | 7  |
| 3.1.1 Cadeias de impacto   | 7  |
| 3.1.2 Critérios para customização das informações climáticas                     | 9  |
| 3.1.3 Critérios para a seleção e priorização dos indicadores de ameaça climática | 11 |
| 3.2 Base de dados  | 12 |
| 3.2.1 Ocorrência de impactos   | 12 |
| 3.2.2 Dados observacionais de clima  | 12 |
| 3.2.3 Modelos de Clima   | 13 |
| 4. RESULTADOS  | 13 |
| 4.1 Seleção e priorização dos indicadores de ameaça climática                    | 13 |
| 4.1.1 Revisão bibliográfica  | 13 |
| 4.1.2 Ocorrências vs. dados meteorológicos                                       | 15 |
| 4.2 Indicadores de ameaça climática selecionados                                 | 19 |
| 4.3 Informações climáticas customizadas  | 20 |
| 5. CONCLUSÕES  | 26 |
| 5.1 Respostas às Perguntas Norteadoras:  | 26 |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS  | 28 |

**Anexos:**

- **Anexo I. Descrição das ameaças climáticas**
- **Anexo II. Normas de Especificação de Serviço (DNIT)**
- **Anexo III. Planilha com os principais pontos das Normas de Especificação de Serviço**
- **Anexo IV. Figuras e mapas resultados dos cálculos das modelagens da climatologia atual e futura e da tendência por índice climático**

## 1. INTRODUÇÃO

Diante do atual cenário de condições climáticas desfavoráveis, medidas de adaptação são necessárias para reduzir os riscos e minimizar os impactos, especialmente sobre a infraestrutura de transportes. Existem diversas estratégias de adaptação, com opções de engenharia e não-engenharia, mas que dependem, para uma escolha técnica apropriada, de um profundo conhecimento dos riscos climáticos e dos fatores que os influenciam. Assim, a análise de risco climático é um instrumento essencial para identificar os fatores de risco e as oportunidades atuais e futuras, bem como nortear as medidas de adaptação a serem implementadas.

Nesse contexto, o estudo “Levantamento de impactos e riscos climáticos sobre a infraestrutura federal de transporte terrestre (rodoviário e ferroviário) existente e projetada” (ou “Estudo AdaptaVias”) tem como objetivo levantar informações que sirvam de subsídio para o desenvolvimento de estratégias de adaptação à mudança do clima para o setor, no âmbito do Projeto “Apoio ao Brasil na Implantação da Agenda Nacional de Adaptação à Mudança do Clima - PROADAPTA”.

Esse estudo divide-se em 6 (seis) etapas, conforme apresentado no Produto 1 (Parte 1 - Plano de Trabalho)

**Etapa 1** - Consiste no levantamento de dados e estudos existentes, e descreve a lógica empregada para o planejamento do estudo e a realização da revisão bibliográfica;

**Etapa 2** - Busca identificar os impactos do clima na infraestrutura federal de transporte terrestre (rodoviário e ferroviário) brasileira, com base na análise de dados e séries históricas;

**Etapa 3** - Visa identificar as ameaças climáticas aplicáveis à realidade da infraestrutura de transporte terrestre brasileira;

**Etapa 4** - Consiste na identificação e análise das vulnerabilidades existentes e do grau de exposição da infraestrutura de transporte terrestre brasileira;

**Etapa 5** - Visa analisar o risco climático, com o detalhamento de suas informações, para munir os tomadores de decisão de dados atualizados;

**Etapa 6** - é uma etapa de fechamento, onde serão elencadas as medidas de adaptação necessárias considerando-se os diferentes impactos e as ameaças, ou seja, as respostas a serem dadas diante dos cenários elaborados pelo consultor externo contratado pela GIZ.

O presente documento apresenta o Produto 3 “Relatório de identificação das ameaças climáticas” que documenta o processo da seleção e definição das informações climáticas customizadas, resultado da etapa 3 do estudo. A customização das informações climáticas se faz necessária devido à falta das informações específicas para atender a demanda desse estudo como, entre outros, a definição do horizonte temporal alinhado com a visão do futuro para o planejamento de infraestrutura terrestre linear e índices climáticos que desencadeiam os impactos prioritários selecionados na etapa 2.

## 2. OBJETIVO

A etapa 3 buscou identificar as ameaças climáticas com base na análise histórica, revisão bibliográfica e elaboração das cadeias de impactos (resultados das etapas 1 e 2) além de envolver a preparação dos insumos e diretrizes para a consultoria externa, bem como o trabalho do consultor externo, que é responsável por fornecer quatro produtos, conforme descrito no TdR:

1. Climatologia atual;
2. Mapa de tendência observada com significância estatística;
3. Cenários de mudança do clima (Futuro vs. Histórico) derivados de um conjunto de multi-modelos do CMIP5 e/ou média de modelos regionais; e
4. Concordância entre os modelos em relação ao sinal de mudança.

A Etapa 3 responde às seguintes perguntas norteadoras (PN):

PN3.1- “Quais são as principais ameaças climáticas que afetam as infraestruturas de transporte terrestre?”;

PN3.2- “Quais são os limiares críticos para cada ameaça climática relacionada a cada impacto climático?”;

PN3.3- “A frequência e intensidade das ameaças climáticas estão aumentando ou diminuindo?”;

PN3.4- “A frequência e a intensidade dessas ameaças climáticas irão aumentar ou diminuir no futuro?”;

PN3.5- “Quais as regiões e áreas onde as mudanças são mais prováveis?”

As seguintes atividades foram exercidas na etapa 3 até a entrega do presente produto:

- Identificação das ameaças climáticas aplicáveis à realidade da infraestrutura federal de transporte terrestre brasileira (rodoviária e ferroviária);
- Definição de indicadores, escopo e critérios para consultoria externa;
- Reuniões virtuais de alinhamento e validação de escopo da consultoria externa;
- Fornecimento de insumos para desenvolvimento da consultoria externa;
- Reunião virtual de validação e debate do Produto 3;
- Entrega do Produto 3.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Demanda

As informações climáticas têm como finalidade estimar o nível de ameaças climáticas (a descrição dessas ameaças encontra-se no anexo I) para o Índice de Risco Climático para infraestrutura terrestre (rodoviária e ferroviária). O levantamento da demanda foi feito através das cadeias de impacto, consultas com os técnicos do Ministério da Infraestrutura (MInfra) e vinculadas, revisão bibliográfica e análises exploratórias. As seções a seguir descrevem em detalhe as etapas de tal levantamento.

##### 3.1.1 Cadeias de impacto

Na etapa 2 foram priorizados os impactos biofísicos que podem implicar em danos sobre a infraestrutura linear terrestre em função da mudança do clima e foram elaboradas cadeias de impactos para cada um deles. Segue uma breve descrição de cada um dos impactos biofísicos priorizados que servem para a extração dos sinais climáticos relevantes que desencadeiam tais eventos (conforme produto 2 dessa consultoria).

##### *Impactos nas rodovias*

Os principais impactos biofísicos que causam danos materiais ou paralisações nas rodovias são:

- **Erosão;**
- **Assoreamento; e**
- **Alagamentos e inundações.**

Os danos e prejuízos na infraestrutura rodoviária devido à **erosão** e ao **assoreamento** são principalmente desencadeados por chuvas extremas, tanto de altos volumes pluviométricos quanto de dias consecutivos de chuva. Enquanto os **alagamentos** e as **inundações** são desencadeados quando o volume precipitado é elevado em um pequeno intervalo de tempo e/ou ocorre um longo período de precipitação, que aumenta o fluxo de água na bacia hidrográfica podendo sobrecarregar tanto a drenagem natural quanto artificial, transbordando os corpos hídricos.

A **erosão** é um processo natural que está sendo agravado por sensibilidades ambientais como a vegetação degradada ou inadequada e a topografia favorável aos processos erosivos. Essas sensibilidades, em muitos casos, têm como agentes causais desafios de gestão, planejamento e

manejo. Os vários elementos da infraestrutura rodoviária que estão expostos às diferentes formas de erosão e seus impactos intermediários, tal qual o assoreamento, podem sofrer danos ou até colapso. Já o **assoreamento** pode ser agravado por sensibilidades ambientais, como a vegetação degradada ou inadequada, a geologia do terreno, e sensibilidades relacionadas à infraestrutura, conforme a ausência ou mau funcionamento de sistemas de drenagem e tipo de asfalto. A falta de capacidade adaptativa, como manejo da vegetação inadequado, práticas de reconformação do terreno não aplicadas, falta de instrumentação ou monitoramento, é um aspecto que pode intensificar os impactos no sistema biofísico, como carregamento de sedimentos e, na infraestrutura rodoviária, perda da capacidade de suporte do pavimento rodoviário e geração de patologias no revestimento.

Outros fatores que, juntamente com os altos volumes pluviométricos, contribuem para a ocorrência de **alagamentos** e **inundações** são a drenagem subdimensionada e entupida devido à falta de planejamento e manutenção, a impermeabilidade do solo e o uso indevido em áreas de retenção natural e regulação hídrica. Também contribuem para estes impactos a vegetação degradada, que reduz o potencial de infiltração de água no solo e, em muitos casos, é causada por mau planejamento e manejo da vegetação reduzida.

Os elementos de infraestrutura rodoviária expostos a **alagamentos** e **inundações** (plataforma, pontes, viaduto e drenagem) podem sofrer danos ou até colapso porque o método construtivo, o material usado e a vida útil prevista não estão adequados devido à falta de manutenção, de diagnósticos e de conhecimento aprofundado, além de falta de normas e processos que norteiam melhor as construções em relação a eventos extremos desse tipo.

Sobre os potenciais impactos das **altas temperaturas e ondas de calor** nas rodovias, tem-se como exemplos: (I) Impactos nas obras de construção de rodovias e estruturas de concreto (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2008); (ii) Expansão térmica em juntas de dilatação de pontes e superfícies pavimentadas, principalmente de concreto de cimento *Portland* (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2008; EVANS et al. (2009)); (iii) Danos à integridade do pavimento em virtude de danos tais como deflexões elevadas, fissuras transversais, redução da taxa de deformação do pavimento asfáltico e deformação permanente (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2008; DAWSON et al., 2016; SONG et al., 2018); (iv) Maior sensibilidade em alguns tipos de ligantes asfálticos, particularmente quando combinado com tráfego de veículos com alta solicitação de carga por eixo (NEMRY e DEMIREL, 2012; WORLD BANK, 2017).

### ***Impactos nas ferrovias***

Os principais impactos biofísicos que causam danos materiais ou paralisações nas ferrovias são:

- **Erosão;**
- **Deslizamento; e**
- **Impactos diretos nos trilhos (expansão térmica, flambagem nos trilhos, entre outros)**

Assim como nas rodovias, os eventos de precipitação intensa em curto intervalo de tempo, dias consecutivos de chuvas e/ou altos volumes pluviométricos são os responsáveis pela ocorrência desses impactos no sistema biofísico e na infraestrutura ferroviária.

Em relação à **erosão**, os impactos tendem a ser agravados por sensibilidades na superfície vegetal degradada e em áreas com erosão aparente não tratada. Além disso, destaca-se que a falta de capacidades adaptativas como práticas de proteção de talude inexistentes ou ineficazes, frequência de manutenção das ferrovias reduzida e falta de controle do uso e ocupação do solo são fatores agravantes para intensificação dos impactos, como o aumento das enxurradas, colmatagem do lastro, desguarnecimento do lastro e até mesmo colapso da plataforma ferroviária.

Já os **deslizamentos de terra**, um dos impactos biofísicos mais relevantes nas ferrovias, podem ser acentuados devido a fatores ecológicos (vegetação suprimida em áreas de regulação hídrica e

estabilização de taludes) e fatores de engenharia (impermeabilização do solo e a drenagem inadequada, que direcionam mais água ainda para locais suscetíveis a movimentos de massa e cortes em taludes por infraestrutura linear). Esses fatores são, em muitos casos, fruto da redução de atividades de fiscalização, manutenção e planejamento. Os deslizamentos podem causar uma série de danos em elementos da infraestrutura ferroviária, entre eles podemos citar dano no sistema de drenagem, flambagem de trilhos ou até o colapso da plataforma.

Em relação aos potenciais impactos das altas temperaturas e ondas de calor nas ferrovias (**expansão térmica**), podem ser mencionados: (i) Flambagem do trilho (empenamento) - gerando defeitos de geometria e comprometendo o uso da via, mais suscetível no trilho soldado contínuo do que no trilho de junta (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2008; NEMRY e DEMIREL, 2012; DAWSON et al., 2016; HEINZ-PETER, 2017; WORLD BANK, 2017; WANG et al., 2020); (ii) Alterações na catenária (rede de alimentação elétrica aérea) - devido variação na cota do terreno em torno das fundações dos postes de fixação (WORLD BANK, 2017; HEINZ-PETER, 2017); e (iii) Superaquecimento de equipamentos elétricos (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2008).

Da análise das cadeias de impacto nas rodovias e ferrovias da Etapa 2 se sintetizou os sinais climáticos apresentados no Quadro 1 que servem, em seguida, para selecionar e priorizar os índices climáticos que melhor representam esses sinais climáticos.

**Quadro 1** – Sinais Climáticos sintetizados a partir da análise das cadeias de impacto da Etapa 2.

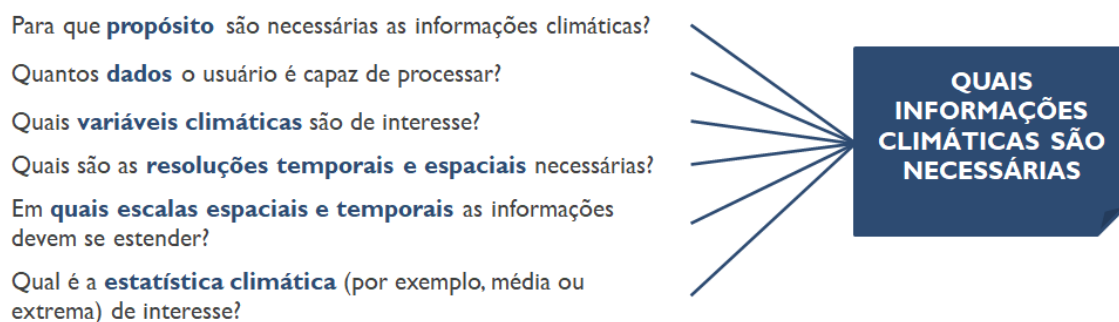
| Impacto Biofísico        | Sinal Climático  |
|--------------------------|--|
| Deslizamento             | Alto volume de precipitação em pouco tempo   |
|                          | Dias consecutivos de chuva   |
|                          | Amplitude térmica, altas temperaturas, secas prolongadas (descartado devido à pouca influência no impacto) |
| Alagamentos / inundações | Dias consecutivos de chuva   |
|                          | Alto volume de precipitação em pouco tempo   |
| Assoreamento             | Dias consecutivos de chuva   |
|                          | Chuvas extremas (alto volume em pouco tempo)   |
| Erosão                   | Dias consecutivos de chuva   |
|                          | Chuvas extremas (alto volume em pouco tempo)   |
|                          | Estiagem e seca, temperaturas extremas, ventos fortes (descartado devido à pouca influência no impacto)    |

Fonte: Elaboração própria (2021).

### 3.1.2 Critérios para customização das informações climáticas

Os critérios para a customização das informações climáticas seguiram o exemplo das perguntas chave de Charron (2016):

**Figura 1** – Perguntas de Charron para customização das informações climáticas.



Fonte: Adaptado de Charron (2016).

Dessas perguntas chave que visam orientar a definição das informações climáticas surgem os seguintes critérios gerais que valem para todas as variáveis e índices climáticos do estudo.

### 3.1.2.1 Escala espacial

A escala espacial descreve ou categoriza o tamanho de um espaço, ou a extensão na qual um fenômeno ou processo ocorre. No caso do presente estudo, essa escala é nacional e a área de domínio é o Brasil, porque a atuação do Ministério de Infraestrutura é no território brasileiro inteiro onde também se estende a infraestrutura linear terrestre sob sua responsabilidade.

### 3.1.2.2 Escala temporal

A escala temporal é a faixa de tempo na qual os fenômenos climáticos são observados no campo e em modelos de clima. A climatologia observada e modelada foi calculada na escala anual, pois os impactos considerados no estudo não tem relação direta com mudanças na sazonalidade.

### 3.1.2.3 Período de referência

O período de referência é usado para calcular as anomalias entre a climatologia observada histórica e a climatologia futura modelada. Tendo em vista a demanda do Ministério de Infraestrutura por uma linha de base que represente o clima das décadas de 1990 e 2000, época das Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários (DNIT, 2005b) e do Manual de Hidrologia Básica (DNIT, 2005a), optou-se pelo período de 1981-2000.

### 3.1.2.4 Horizonte temporal

O horizonte temporal é a faixa de tempo para qual se apresenta as variáveis e índices climáticos modelados para calcular as anomalias e tendências do clima futuro. O Plano Nacional de Logística (PNL) que, entre outros, trata do planejamento da infraestrutura linear terrestre no longo prazo, apresenta a visão do futuro do ano 2035, sendo esse o argumento da escolha do primeiro horizonte temporal (2026-2045) centrado no ano de 2035. Tendo em vista os períodos de concessões, se definiu mais dois horizontes temporais: 2046-2065 (centrado em 2055) e 2066-2085 (centrado em 2075).

### 3.1.2.5 Cenários de emissões

Para a realização de projeções futuras do clima, os modelos climáticos são formados por um conjunto de condições de contorno e por determinados cenários de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE). Tais cenários de emissões são suposições sobre futuras emissões e concentrações de GEE, com base em estimativas do desenvolvimento da economia mundial, crescimento populacional, globalização, etc. Os cenários mais conhecidos são os *Representative Concentration Pathway* (RCP), que são Trajetórias Representativas de Concentrações de GEE (não emissões). Desde 2014, os caminhos originais estão sendo considerados em conjunto com os *Shared Socioeconomic Pathways* (SSP). Os SSP são cenários de mudanças socioeconômicas globais projetadas até 2100 e fornecem narrativas que descrevem desenvolvimentos socioeconômicos alternativos. No caso da combinação com os RCP, cada um dos cinco SSP analisa como os diferentes RCP poderiam ser alcançados dentro do contexto das características socioeconômicas subjacentes e das premissas políticas compartilhadas daquele mundo. Por exemplo, SSP2-4.5 representa a parte média da gama de futuras vias de forçamento e atualiza o RCP4.5 (IPCC, 2018).

Para o presente estudo foram selecionados três cenários: Um cenário mais otimista (SSP1-2.6), um cenário intermediário (SSP2-4.5) e um cenário pessimista (SSP5-8.5).

### 3.1.2.6 Nível de concordância entre os modelos

O nível de concordância descreve o quanto os modelos que englobam o *Coupled Model Intercomparison Project* (CMIP) têm resultados na mesma tendência e graus parecidos. Em muitos casos se usa 80%, mas para a variável de chuva e seus índices além de horizontes temporais mais curtos, a concordância entre os modelos costuma ser baixa. Por isso se adota um nível de concordância de 67%, também usado pelo IPCC (2021).

### 3.1.3 Critérios para a seleção e priorização dos indicadores de ameaça climática

Vários critérios de seleção e priorização foram estabelecidos no índice de Risco Climático, componente de ameaça climática, a saber:

- Revisão da Literatura;
- Análise e ocorrência vs. Dados meteorológicos;
- Análises de tendência e cenários de mudanças futuras.

#### 3.1.3.1 Revisão de literatura

A primeira estratégia adotada para a seleção e priorização de indicadores de ameaça climática consistiu na revisão bibliográfica com base na busca na internet e na base de dados Scopus. Procurou-se analisar quais índices climáticos em relação aos impactos biofísicos priorizados nesse estudo foram aplicados tanto em estudos nacionais (p.ex. Marengo et al. 2021) quanto internacionais (p.ex. Korn et al. 2017).

Essa primeira estratégia também incluiu Normas e Manuais do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT. Para isso, inicialmente, uma lista com mais de 40 diferentes Normas de Especificação de Serviço (conforme apresentada no Anexo I) foi sugerida pelo Ministério de Infraestrutura - MInfra, sendo 11 sobre Drenagem, 12 sobre Terraplenos e Passivos Ambientais e 22 sobre Obras de Arte Especiais. Além disso, buscou-se basear-se no “Manual de Hidrologia Básica para estruturas de drenagem”, apresentado em DNIT (2005a) e nas “Diretrizes básicas para elaboração de estudos e projetos rodoviários”, exposto em DNIT (2005b).

Especificamente sobre as temperaturas extremas, buscou-se identificar na literatura, principalmente brasileira, quais são os índices mais utilizados para avaliar seus impactos na infraestrutura de transporte terrestre. Dessa maneira, adotou-se como uma de suas referências o Projeto 2040 (SEA, 2015), que desenvolve índices e limiares para temperaturas mínimas e máximas para rodovias considerando informações coletadas do Método SUPERPAVE (MULHOLLAND e FEYEN, 2021; SPEIGHT, 2016).

#### 3.1.3.2 Análise de ocorrências vs. Dados meteorológicos

Na sequência foi realizada uma análise de aderência entre os registros de danos na infraestrutura rodoviária reportados pelas concessionárias/DNIT e dados de precipitação observados. Ou seja, verificou-se a correlação dos sinais climáticos reportados como chuva com dados de chuvas para os respectivos dias da ocorrência registrada. Essa análise é importante para a identificação de índices climáticos relevantes para os impactos priorizados no estudo:

- A correlação entre sinal climático do tipo precipitação reportado pelas concessionárias e DNIT e a chuva observada em campo para o mesmo dia e local;
- O volume médio de chuva para os dias das ocorrências que resultou em dano na infraestrutura;
- Entendendo que pode haver um atraso no registro da ocorrência climática pelas concessionárias, verificou-se qual o volume de chuva para o dia anterior e o volume acumulado para os últimos três dias;
- E, por fim, se existe um volume mínimo de chuva para desencadear processos de impactos biofísicos do tipo alagamento ou deslizamento.

É importante destacar que a quantidade de chuva é medida pela razão mm/h. No entanto, não há o horário de registro do dano pelas concessionárias, nem tampouco quanto tempo de chuva precedeu o prejuízo ao ativo da concessionária. Por essa razão, a medição da chuva nesta análise será o acumulado do dia da ocorrência, ou seja, mm/dia.

Ressalta-se, contudo, que esta análise não pretende contrapor ou contestar a veracidade do registro de ocorrência relatado pelas concessionárias e demais órgãos que contribuíram com o estudo. O

intuito é apenas analisar a correlação entre o volume de chuvas observadas para os dias de ocorrência reportados.

### 3.1.3.3 Análise de tendências e cenários de mudanças futuras

Por fim, , foi realizado o cálculo de tendência e significância estatística por meio teste de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall & Gibbons, 1990) para o período de 1981-2020 utilizando os dados de precipitação. O método pode ser aplicado quando as séries temporais não precisam estar em conformidade com nenhuma distribuição particular e é comumente usado em estudos do *Expert Team on Climate Change Detection and Indices* (ETCCDI) do *World Climate Research Programme* (WCRP). Em especial para os dados de temperatura também se consultou o Atlas do IPCC (<https://interactive-atlas.ipcc.ch/>) para analisar o quanto os modelos projetam tendências significativas para os índices priorizados.

## 3.2 Base de dados

### 3.2.1 Ocorrência de impactos

A base de ocorrência de impactos foi concedida pelas concessionárias de trechos rodoviários e ramais ferroviários, pelo DNIT através do estudo PARF (2017), pela ANTT e VALEC. Os dados são registros de sinais climáticos que provocaram danos à infraestrutura de forma direta ou indireta, assim como seu dia e local do acontecimento.

Ressalta-se que apenas os registros com data de ocorrência válida, bem como sua georreferência foram considerados na análise em questão. Com isso, um total de 6.793 e 1.357 registros estavam aptos para análise nas rodovias e ferrovias, respectivamente.

**Tabela 1** – Total de ocorrências para cada sinal climático reportado pelas concessionárias rodoviárias e DNIT.

| Sinal Climático      | Total de Ocorrências |
|----------------------|----------------------|
| Descarga Atmosférica | 3                    |
| Não Aplicável        | 1                    |
| Não informado        | 3880                 |
| Precipitação         | 2906                 |
| Ventos               | 3                    |
| <b>Total Geral</b>   | <b>6793</b>          |

Fonte: Elaboração própria (2021).

**Tabela 2** – Total de ocorrências para cada sinal climático reportado pelas concessionárias ferroviárias.

| Sinal Climático    | Total de Ocorrências |
|--------------------|----------------------|
| Indefinido         | 1                    |
| Não Aplicável      | 135                  |
| Não Identificado   | 1                    |
| Precipitação       | 1180                 |
| Tempestade         | 40                   |
| <b>Total Geral</b> | <b>1357</b>          |

Fonte: Elaboração própria (2021).

### 3.2.2 Dados observacionais de clima

No presente estudo são usados dados climáticos observados oriundos do *Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Stations* (CHIRPS) e *Climate Prediction Center* (CPC) obtidos a partir de observações locais e remotas, que representam os dados observados. A base de dados extraída das diferentes fontes limitou-se às variáveis de interesse neste trabalho, são elas: precipitação, temperatura máxima e mínima.

O CHIRPS é um conjunto de dados de precipitação (PREC) quase global com mais de 35 anos. Abrange a faixa de latitude 50°S-50°N (e todas as longitudes) e engloba dados a partir do ano 1981 até o presente. Ele incorpora imagens de satélite com resolução de 0,05° e dados de estações *in situ* para criar séries temporais de chuva em grade para análise da variabilidade climática.

No que concerne à base de dados observacional de temperatura (TMAX e TMIN), os dados usados como referência tiveram como base os dados do NOAA *Climate Prediction Center* (CPC), com resolução espacial 0.5° x 0.5° latitude por longitude, a partir da interpolação e controle de qualidade dos dados de temperatura reportados.

### 3.2.3 Modelos de Clima

Diversos centros de pesquisa conduzem experimentos de modelagem do clima. A iniciativa CMIP tem por objetivo coordenar os esforços globais em modelagem de clima em torno de um protocolo de experimentos que permite a comparação entre os resultados dos modelos e seu uso em conjunto (*multi-model ensemble*). No ramo do presente estudo foi decidido que serão usadas as projeções dos modelos de clima globais mais atuais, os quais compõem a fase 6 do CMIP (CMIP6) e que farão parte do próximo relatório do IPCC, o *Sixth Assessment Report* (AR6).

Para representar a climatologia dos cenários de mudança do clima, utilizou-se dados de chuva (PREC) e temperatura máxima (TMAX) na escala diária, resolução espacial de 1° e rodadas históricas, para o cálculo da linha de base (baseline) e os cenários selecionados.

### 3.3. Cenários de mudança do clima

Para o cálculo dos cenários de mudança do clima utilizou-se o método *Delta-change* bastante usado em estudos hidrológicos e que, embora apresente limitações (p.ex. ignora mudanças na variabilidade temporal para estimar climatologia na escala mensal e anual, ANANDHI *et al.* 2011), mostrou-se adequado ao nosso estudo. O método consiste em somar a climatologia observada com a diferença entre a rodada de um determinado cenário de emissões (p.ex. RCP4.5) e a rodada histórica do modelo. As equações 1 e 2 descrevem o cálculo:

$$\Delta P = \text{FUT} - \text{HIST.} \quad (\text{eq. 1})$$

$$\text{Cenário} = \text{OBS} + \Delta \quad (\text{eq. 2})$$

Onde FUT é a climatologia de índices climáticos derivada da rodada futura (e.g., RCP4.5) de um determinado modelo de clima e HIST é a climatologia de precipitação derivada da rodada futura histórica. OBS são os índices climáticos derivados do CHIRPS. Os cálculos de climatologia foram na escala anual. Vale ressaltar que o resultado do  $\Delta$  foi interpolado para a resolução espacial de 1°x1° do CHIRPS.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Seleção e priorização dos indicadores de ameaça climática

A seguir são descritos os principais resultados para cada uma das atividades de seleção e priorização realizadas para a definição dos indicadores de ameaça climática.

#### 4.1.1 Revisão bibliográfica

Conforme exposto na Seção 3.1.3.1, utilizou-se a literatura existente como primeira fonte de informação para seleção e priorização de indicadores de ameaça climática.

O quadro 2 mostra os índices usados para chuvas extremas que podem desencadear **deslizamentos e inundações** por parte da bibliografia analisada, sem necessariamente distinguir entre os impactos biofísicos.

**Quadro 2** – Índices climáticos usados para eventos climáticos extremos que desencadeiam inundações e deslizamentos na literatura.

| Publicação            | Intensidade  |
|-----------------------|--|
| Korn et al. (2017)    | R10mm (número de dias > 10mm de precipitação), R20mm, Rx5Day (maior quantidade de precipitação de cinco dias)  |
| Marengo et al. (2021) | Rx1Day, Rx5Day, R95P (precipitação total anual quando a taxa de precipitação diária > 95º percentil de precipitação do período de 30 anos selecionado), CWD (número máximo de dias consecutivos com chuva) |
| Lange (2019)          | Rx1Day, Rx5Day, R95P, R99P, R20mm, R25mm, CWD  |

Fonte: Elaboração própria (2021).

Já em relação à erosão e ao assoreamento, pode se resumir que as características das precipitações que mais interferem no processo de erosão do solo são a intensidade, a duração e a frequência da precipitação e sua erosividade (o potencial da água da chuva em causar a erosão), mas que um dos grandes inconvenientes nos estudos é a incapacidade de caracterizar as chuvas, da forma como ocorrem, ignorando ou não distinguindo a variabilidade temporal e espacial, além da diversidade dos ambientes biofísicos (tipo de solo, cobertura vegetal, entre outros). Ou seja, os estudos não estão claros em relação a variáveis/índices pluviométricos que desencadeiam erosão e assoreamento.

As conclusões, após uma revisão aprimorada das Normas contidas na lista disponibilizada pelo MInfra, foram as seguintes: (i) As Normas consultadas não indicam explicitamente indicadores/índices climáticos ou limiares que possam ser utilizados no estudo; e (ii) As Normas servem, muito mais, para embasar as fundamentações teóricas e refinar indicadores/índices de vulnerabilidade (sensibilidade e capacidade adaptativa), que serão tratados na Etapa 4. Dessa forma, foi desenvolvida uma Planilha com os principais pontos das Normas que podem ser aproveitados para o estudo, conforme Anexo II. Especificamente sobre os estudos desenvolvidos por DNIT (2005a), Diretrizes básicas para elaboração de estudos e projetos rodoviários, e DNIT (2005b), Manual de Hidrologia Básica para estruturas de drenagem, consta-se o Tempo de Recorrência (TR) de escoamento superficial para obras de engenharia, cujo significado se refere ao espaço de tempo em anos onde provavelmente ocorrerá um fenômeno de grande magnitude, pelo menos uma vez, e que pode ser considerado um indicador de ameaça climática. Os TR mais frequentes são: 1 ano, 5 anos, 10 anos, 20 anos, 50 anos e 150 anos (DNIT, 2005b). Nesse sentido, em conversas com o comitê gestor, acreditou-se ser pertinente utilizar o índice Rx1day, pois ele é representativo ao TR igual a 1 ano.

Para obtenção de outros possíveis indicadores, acreditou-se ser necessário um maior contato com a equipe do DNIT para maiores esclarecimentos sobre aspectos relevantes dos manuais, inclusive um melhor detalhamento sobre possíveis indicadores, entretanto, tendo em vista o avanço da Etapa 3 e as dificuldades de comunicação com o DNIT, foram utilizadas outras estratégias para priorização desses indicadores.

Especificamente em relação às temperaturas extremas, tomou-se como base Projeto 2040 (SEA, 2015), que estabelece, para rodovias, “temperatura média anual”, como índice para baixas temperaturas, e “média dos 7 dias consecutivos mais quentes do ano”, como índice para altas temperaturas. Entretanto, o próprio Projeto 2040 conclui que não há “hotspot” relacionado às temperaturas mínimas.

Para facilitar a utilização dos índices para altas temperaturas, em trocas de *e-mail* com o Comitê Gestor, considerou-se pertinente utilizar, além do índice “média dos 7 dias consecutivos mais quentes do ano”, ou seja, o Tx7day, o índice de ondas de calor, mais especificamente o *Heat Wave Duration Index* (HWDI), que tem dois parâmetros: temperatura e duração. Isso porque o índice, que inclusive representa um dos sinais climáticos do impacto biofísico de incêndios, é bastante parecido ao sugerido pelo Projeto 2040 (5°C acima da média da TMáxAr (°C) por 5 dias consecutivos ou mais) e pode-se ajustar o HWDI para 7 dias, sendo este mais fácil de utilizar pois já tem uma função pronta. O

parâmetro de temperatura foi definido como TMAX 30°C com base no indicador de queimadas do INPE (SETZER et al., 2019).

#### 4.1.2 Ocorrências vs. dados meteorológicos

##### Rodovias

Como visto na [Tabela 1](#), foram reportados 2.906 registros de precipitação pelas concessionárias e DNIT como sinal climático que desencadeou algum dano na infraestrutura da rodovia. A Tabela 3 apresenta quantas ocorrências de impacto relacionados à chuva coincidiram com registro de chuvas para o mesmo dia, o dia anterior e o acumulado dos últimos três dias. Observou-se que para o mesmo dia, pouco mais de 61% dos registros de precipitação coincidem com algum volume de chuva, e em 38,7% dos registros não houve qualquer chuva para o dia. Para o dia anterior, a aderência foi bem menor, com 51% de registros de chuvas e precipitação reportada. Por fim, no acumulado dos últimos três dias, a proporção de aderência sobe para mais de 80% dos casos registrados.

**Tabela 3** – Relação entre ocorrência de impacto de precipitação e registro de chuvas para rodovias.

| Sinal Climático   | Total de Ocorrências  |           |                       |           |                    |           |
|---|-----------------------|-----------|-----------------------|-----------|--------------------|-----------|
|   | Sem registro de chuva | Proporção | Com registro de chuva | Proporção | Sem dado observado | Proporção |
| Precipitação para o dia da ocorrência                   | 1125                  | 38,7%     | 1777                  | 61,1%     | 4                  | 0,1%      |
| Precipitação do dia anterior da ocorrência              | 1421                  | 48,9%     | 1481                  | 51,0%     | 4                  | 0,1%      |
| Precipitação acumulada dos 3 últimos dias da ocorrência | 566                   | 19,5%     | 2336                  | 80,4%     | 4                  | 0,1%      |

Fonte: Elaboração própria (2021).

A Tabela 4 exibe a média, mínima e máxima considerando apenas os dias em que foi observado chuvas para as ocorrências de precipitação registrados pelas concessionárias e DNIT. A média de chuvas observadas no dia e no dia anterior são bem próximas, 20 mm e 19 mm, nesta ordem. No entanto, a média dos três últimos dias acumulados sobe consideravelmente para 37 mm. Os valores mínimos também acompanham o comportamento da média, ou seja, o volume mínimo do dia e do dia anterior são parecidos, enquanto no acumulado o mínimo salta para 1,5 mm, um aumento de mais de 125%. Os volumes máximos de chuva são diferentes para cada situação analisada. Para o volume do dia, houve o registro máximo de 180 mm, enquanto para o dia anterior foi de 224 mm e, por fim, no acumulado foi de 246 mm.

**Tabela 4** – Média, Mínima e Máxima para os dias de chuvas observadas e registradas pelas Concessionárias para rodovias.

| Sinal Climático   | Para os dias com chuva observada |                |                 |                 |
|---|----------------------------------|----------------|-----------------|-----------------|
|   | Quantidade de dias com chuva     | Média (mm/dia) | Mínima (mm/dia) | Máxima (mm/dia) |
| Precipitação para o dia da ocorrência                   | 1777                             | 20,10          | 0,62            | 180,60          |
| Precipitação do dia anterior da ocorrência              | 1481                             | 19,10          | 0,65            | 224,20          |
| Precipitação acumulada dos 3 últimos dias da ocorrência | 2336                             | 37,60          | 1,47            | 246,30          |

Fonte: Elaboração própria (2021).

Quando analisados os impactos biofísicos para as rodovias, verifica-se que o **alagamento** é o que tem maior correlação com chuvas, o que era esperado, como mostra a Tabela 5. Para precipitação do dia da ocorrência, houve 70% de aderência com chuvas observadas. Este valor cai para 52,9% para o dia anterior e salta para 88% para o acumulado dos últimos três dias. O impacto do **deslizamento** não passa de 50% de correlação com chuvas medidas em campo para o dia da ocorrência e o dia anterior. No entanto, no acumulado de três dias, o valor passa para mais de 67%. A **erosão** é outro fenômeno que tem chuvas como razão para seu evento. No dia da ocorrência a aderência foi de 56,1%, enquanto no dia anterior foi de 51,7% e no acumulado a correspondência foi para 78,7%. Conforme esperado, **incêndio** tem baixa aderência com chuvas, não passando de 11% para o dia da ocorrência e o dia anterior.

Ainda na Tabela 5, verifica-se que a média de chuvas são mais altas para os impactos de **alagamento** e **deslizamento**, com destaque para a média acumulada dos últimos três dias para **deslizamento**, o qual alcançou 48 mm. **Alagamento** e **erosão** também apresentaram altas médias para o acumulado de três dias com 35 mm e 33 mm, respectivamente.

**Tabela 5** – Relação entre ocorrência de impactos biofísicos e registro de chuvas para rodovias.

| Impactos Biofísicos* | Quantidade de dias com chuva observada |      |                |                     |      |                |                                  |      |                |
|----------------------|--|------|----------------|---------------------|------|----------------|----------------------------------|------|----------------|
|                      | Para o dia da ocorrência               |      |                | Para o dia anterior |      |                | Acumulada para últimos três dias |      |                |
|                      | Dias                                   | %    | Média (mm/dia) | Dias                | %    | Média (mm/dia) | Dias                             | %    | Média (mm/dia) |
| Alagamento           | 1085                                   | 70,0 | 18,0           | 820                 | 52,9 | 17,1           | 1363                             | 88,0 | 35,1           |
| Deslizamento         | 382                                    | 47,9 | 29,0           | 374                 | 46,9 | 26,8           | 536                              | 67,3 | 47,6           |
| Erosão               | 303                                    | 56,1 | 16,7           | 279                 | 51,7 | 14,5           | 425                              | 78,7 | 32,8           |
| Incêndio             | 400                                    | 10,3 | 7,4            | 407                 | 10,5 | 8,3            | 880                              | 22,8 | 13,1           |
| Não informado        | 12                                     | 42,9 | 21,9           | 11                  | 39,3 | 27,3           | 19                               | 67,9 | 44,8           |

\*Ciclone, Elevada Contribuição de Bacia Hidrográfica, Inundação, Tempestade e Vendaval são impactos biofísicos que não foram considerados por quantidade de registros insuficientes para análise estatística.

Fonte: Elaboração própria (2021).

### Ferrovias

Para ferrovias, foram totalizados 1.180 registros de ocorrências de impacto relacionados à chuva. Conforme apresentado na Tabela 6, a taxa de aderência foi bastante baixa para chuvas observadas no mesmo dia e no dia anterior, com 25,3% e 25% respectivamente. Para o acumulado nos três dias anteriores, a aderência sobe para pouco mais de 43%. Portanto, de forma geral, a quantidade de chuva observada com registros de precipitação ficou bem abaixo quando comparada com os dados das rodovias.

**Tabela 6** – Relação entre ocorrência de impacto de precipitação e registro de chuvas para ferrovias.

| Sinal Climático   | Total de Ocorrências  |           |                       |           |
|---|-----------------------|-----------|-----------------------|-----------|
|   | Sem registro de chuva | Proporção | Com registro de chuva | Proporção |
| Precipitação para o dia da ocorrência                   | 882                   | 74,7%     | 298                   | 25,3      |
| Precipitação do dia anterior da ocorrência              | 885                   | 75,0%     | 295                   | 25,0%     |
| Precipitação acumulada dos 3 últimos dias da ocorrência | 666                   | 56,4%     | 514                   | 43,6%     |

Fonte: Elaboração própria (2021).

Seguindo o padrão das rodovias, como observado na Tabela 7, a média para ferrovias de chuva para o dia da ocorrência e para o dia anterior é quase a mesma, 13,1 mm e 13,8 mm, respectivamente. A média para o acumulado de três dias sobe quase 100%, alcançando 24 mm. A quantidade mínima é bem diferente para cada situação, assim como os valores máximos de precipitação. O volume máximo para o dia foi de 93 mm, enquanto no dia anterior observou-se 66 mm e para o acumulado foi de quase 200 mm.

**Tabela 7** – Média, Mínima e Máxima para os dias de chuvas observadas e registradas pelas Concessionárias para ferrovias.

| Sinal Climático   | Para os dias com chuva observada |                |                 |                 |
|---|----------------------------------|----------------|-----------------|-----------------|
|   | Quantidade de dias com chuva     | Média (mm/dia) | Mínima (mm/dia) | Máxima (mm/dia) |
| Precipitação para o dia da ocorrência                   | 298                              | 13,10          | 0,10            | 93,70           |
| Precipitação do dia anterior da ocorrência              | 295                              | 13,80          | 0,05            | 66,50           |
| Precipitação acumulada dos 3 últimos dias da ocorrência | 514                              | 24,10          | 0,70            | 199,70          |

Fonte: Elaboração própria (2021).

Os impactos biofísicos em ferrovias não seguem o mesmo padrão observado nas rodovias, conforme exibe a Tabela 8. A aderência de **alagamento**, **assoreamento**, **deslizamento** e **erosão** é muito baixa com a chuva observada, tanto para o dia da ocorrência, quanto para o dia anterior e no acumulado. Em nenhum caso passa de 50% de aderência. O destaque vai para o impacto da descarga **atmosférica** que possui 76,7% de correlação para o dia da ocorrência, baixando para 53,5% para o dia anterior e saltando para 88,4% no acumulado de três dias.

Quanto às médias apresentadas, os valores são próximos para o dia da ocorrência e o dia anterior para todos os impactos biofísicos. No acumulado dos últimos três dias, as médias ganham significado maior. A **descarga atmosférica** tem maior média com 37 mm, seguido da **erosão** com 24 mm.

**Tabela 8** – Relação entre ocorrência de impactos biofísicos e registro de chuvas para ferrovias.

| Impactos Biofísicos* | Quantidade de dias com chuva observada |      |                |                     |      |                |                                  |      |                |
|----------------------|--|------|----------------|---------------------|------|----------------|----------------------------------|------|----------------|
|                      | Para o dia da ocorrência               |      |                | Para o dia anterior |      |                | Acumulada para últimos três dias |      |                |
|                      | Dias                                   | %    | Média (mm/dia) | Dias                | %    | Média (mm/dia) | Dias                             | %    | Média (mm/dia) |
| Alagamento           | 6                                      | 15,0 | 6,7            | 5                   | 12,5 | 10,3           | 9                                | 22,5 | 17,40          |
| Assoreamento         | 22                                     | 22,2 | 10,1           | 21                  | 21,2 | 16,2           | 36                               | 36,4 | 21,30          |
| Descarga Atmosférica | 33                                     | 76,7 | 17,9           | 23                  | 53,5 | 14,7           | 38                               | 88,4 | 37,7           |
| Deslizamento         | 9                                      | 19,1 | 11,8           | 15                  | 31,9 | 11,8           | 21                               | 44,7 | 19,6           |
| Erosão               | 253                                    | 25,8 | 12,9           | 249                 | 25,4 | 13,6           | 438                              | 44,6 | 24,3           |
| Não Aplicável        | 24                                     | 17,5 | 11,5           | 26                  | 19,0 | 13,8           | 68                               | 49,6 | 21,3           |

\*Enxurrada, Inundação e Queda de Rochas são impactos biofísicos que não foram considerados por quantidade de registros insuficientes para análise estatística

Fonte: Elaboração própria (2021).

Diante do exposto, os dados indicam que os fenômenos de precipitação que causam danos na infraestrutura rodoviária e ferroviária têm maior probabilidade de serem consequências de dias consecutivos de chuvas intensas tanto para as rodovias quanto para as ferrovias. No caso das rodovias, na média, o volume de chuva diária que causa danos é de 37 mm, enquanto para ferrovias é de 24 mm. Nesse sentido, os dados sugerem que é necessário um volume de chuva maior para provocar danos na infraestrutura rodoviária do que na ferroviária. Entretanto, cabe ressaltar que os dados disponíveis para as ferrovias estão em quantidade bem menor quando comparado com as rodovias.

Quanto aos impactos biofísicos, os dados disponíveis para as rodovias sugerem que **alagamento**, **deslizamento** e **erosão** têm como força motriz para seu desencadeamento a precipitação. Não é possível afirmar se são causados principalmente por chuvas intensas ou acumuladas. No entanto, na média, a chuva que causa estes impactos é de 32mm para **erosão**, 35mm para **alagamento** e 47mm para **deslizamentos** no acumulado em 3 dias. No caso das ferrovias, a análise fica comprometida devido ao baixo número de registro. Contudo, a **descarga atmosférica** aparece com maior correlação com chuvas observadas, chegando a 88,4% no acumulado e 38 mm de média para os três últimos dias.

#### 4.2 Indicadores de ameaça climática selecionados

Com base na revisão bibliográfica, análises das ocorrências vs. dados meteorológicos e das tendências, além de reuniões com o comitê gestor, chegamos à conclusão de que os índices mais representativos para os impactos são aqueles apresentados no Quadro 3.

**Quadro 3** – Índices climáticos selecionados para os impactos priorizados nas rodovias e ferrovias.

| Índice climático                                    | Acrônimo | Impactos                                       | Argumentos (Literatura; análise de impacto X chuva, literatura e análise de tendências)  |
|---|----------|--|--|
| Número de dias com chuva igual ou maior a 20 mm     | R20mm    | Alagamento/Inundação<br>Assoreamento<br>Erosão | Indica Frequência de extremos de chuva. Identificado na literatura (p.ex., KORN, 2017, LANGE, 2019) e na análise de impacto X chuva.   |
| Número de dias com chuva igual ou maior a 50 mm     | R50mm    | Deslizamento                                   | Indica Frequência de extremos de chuva. Identificado na literatura (p.ex., DNIT, 2005 a, LANGE, 2019) e na análise de impacto X chuva.   |
| Chuva máxima acumulada em 1 dia                     | Rx1day   | Alagamento/Inundação<br>Assoreamento<br>Erosão | Indica Intensidade de extremos de chuva. Identificado na literatura (p.ex., DNIT, 2005 a, LANGE, 2019, MARENGO et al., 2021). Equivalente ao Tempo de Recorrência de 1 ano.            |
| Chuva máxima acumulada em 5 dias                    | Rx5day   | Deslizamento                                   | Indica Intensidade de extremos de chuva. Identificado na literatura (p.ex., DNIT, 2005 a, KORN, 2017, LANGE, 2019, MARENGO et al. 2021). Equivalente ao Tempo de Recorrência de 1 ano. |
| Índice de intensidade de precipitação simples       | SDII     | Assoreamento<br>Erosão                         | Indica Intensidade de extremos de chuva. Sugerido pelo Comitê Gestor.  |
| Número máximo de dias consecutivos com chuva        | CWD      | Alagamento/Inundação<br>Deslizamento           | Indica Persistência de chuva (LANGE, 2019, MARENGO et al. 2021).   |
| Número de dias com temperatura máxima acima de 30°C | TXge30   | Incêndio                                       | Indica Frequência de temperaturas altas (SETZER, 2019).  |
| Número máximo de dias secos consecutivos            | CDD      | Incêndio                                       | Indica Persistência de seca (SETZER, 2019).  |
| Índice de duração de ondas de calor                 | HWDI     | Incêndio, impactos diretos na infraestrutura   | Indica Persistência de temperaturas altas (SEA, 2015, SETZER, 2019).   |
| Média dos 7 dias consecutivos mais quentes do ano   | Tx7day   | Impactos diretos na infraestrutura             | Indica Persistência de temperaturas altas (SEA, 2015)  |

Fonte: Elaboração própria (2021).

### 4.3 Informações climáticas customizadas

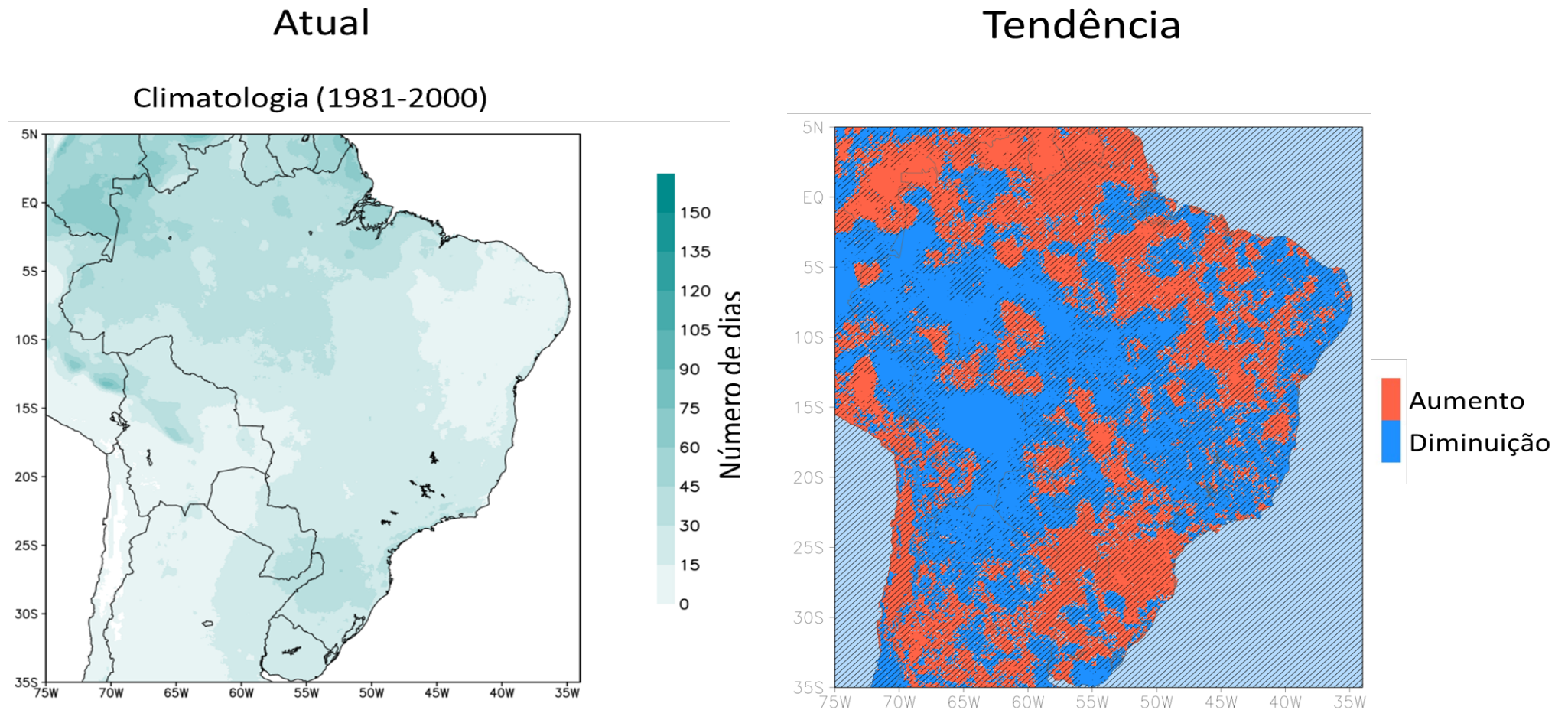
Em seguida, apresentam-se os resultados dos cálculos das modelagens da climatologia atual e futura e da tendência por índice climático descrevendo primeiro a climatologia atual, depois a tendência e, por fim, as anomalias (*Delta-change*) entre a climatologia atual e a climatologia futura nos dois cenários disponíveis até o fechamento do presente relatório e nos horizontes temporais definidos (2026-2045, 2046-2065 e 2066-2085).

Para não sobrecarregar este capítulo com figuras, as mesmas, juntamente com os mapas dos resultados só serão apresentadas no primeiro índice climático e o restante encontra-se no [anexo IV](#).

#### **R20mm**

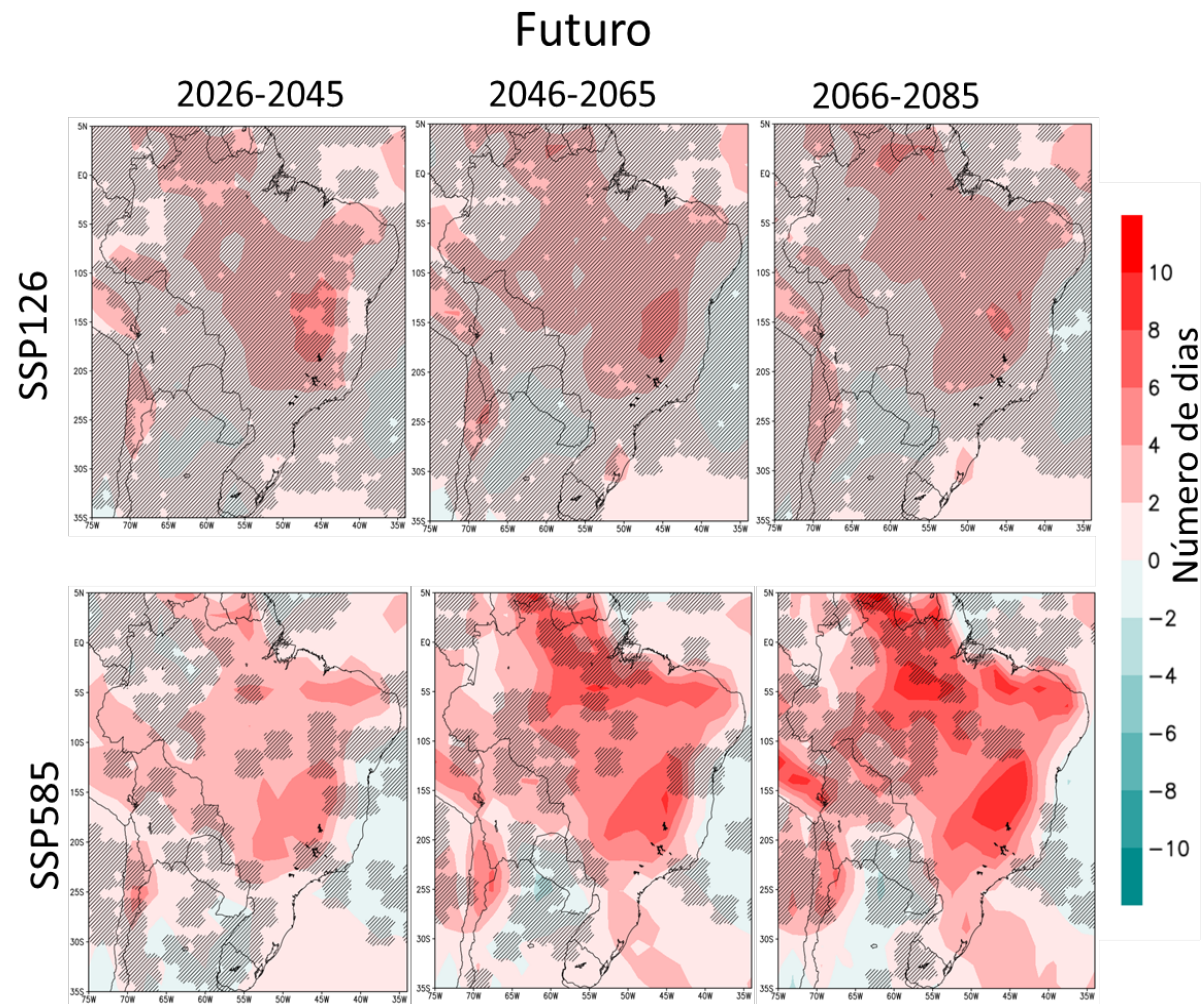
- O índice R20mm (número de dias com precipitação acima de 20mm) é relevante como sinal climático para os impactos biofísicos **Alagamento/Inundação, Assoreamento e Erosão**;
- A climatologia atual mostra que o maior número de dias com precipitação acima de 20mm se concentram na região da Amazônia e no sul do Brasil, com até 45 dias por ano na média dos anos 1981-2000 (figura 2);
- No mapa da análise de tendência constata-se que o índice climático R20mm aumentou na região da Amazônia, no interior do Nordeste e no Sul;
- As projeções futuras mostram que no cenário otimista (SSP1-2.6) o R20mm aumentará potencialmente no interior do Brasil em até 6 dias em todos os horizontes temporais (figura 2);
- No cenário pessimista (SSP5-8.5) o R20mm pode aumentar em até de 10 dias no horizonte temporal futuro (2066-2085), sendo esse aumento concentrado no interior do Sudeste e do Norte (figura 2).

**Figura 2** – Mapas da distribuição atual do índice climático R20mm, as potenciais anomalias futuras e a tendência (a área riscada/hachurada significa que a tendência não é estatisticamente significativa)



Fonte: Elaboração própria (2021).

**Figura 3** – Mapas da distribuição atual do índice climático R20mm, as potenciais anomalias futuras e a tendência (a área riscada/hachurada significa que a tendência não é estatisticamente significativa). **(continuação)**



Fonte: Elaboração própria (2021).

**R50mm**

- O índice R50mm (número de dias com precipitação acima de 50mm) é relevante como sinal climático para o impacto biofísico **Deslizamento**
- A climatologia atual mostra que o maior número de dias com precipitação acima de 50mm são concentrados na região da Amazônia e no sul do Brasil, com até 10 dias por ano na média dos anos 1981-2000. Na região Sudeste constata-se até 6 dias com precipitação acima de 50mm;
- No mapa da análise de tendência, constata-se que o índice climático R50mm aumentou em algumas partes do Norte da região da Amazônia, no interior do estado do Paraná e em algumas áreas espalhadas nas demais regiões do Brasil, sem padrão de distribuição espacial bem definido;
- As projeções futuras mostram que no cenário otimista (SSP1-2.6) o R50mm aumentará potencialmente no interior do Brasil (Sudeste e Centro-Oeste) em até 4 dias no horizonte temporal mais próximo (2026-2045) e nos demais horizontes temporais terá o mesmo aumento das partes interiores da Amazônia;
- No cenário pessimista (SSP5-8.5) o R50mm pode aumentar em até 10 dias no horizonte temporal futuro (2066-2085) sendo esse aumento mais concentrado no interior da Amazônia, mas ainda bem expressivo no interior do Sudeste.

**Rx1Day**

- O índice Rx1Day (chuva máxima acumulada em um dia) é relevante como sinal climático para os impactos biofísicos **Alagamento/Inundação, Assoreamento e Erosão**;
- A climatologia atual mostra que os dias com chuvas mais fortes (até mais de 250mm) ocorrem no litoral do Nordeste e do estado do Amapá;
- No mapa da análise de tendência é difícil constatar um padrão de distribuição espacial tendo várias áreas espalhadas pelo país com aumento do Rx1Day;
- As projeções futuras mostram que no cenário otimista (SSP1-2.6) o Rx1Day aumenta potencialmente em algumas áreas do Sul, Sudeste e Oeste do estado da Amazônia (até 10mm);
- No cenário pessimista (SSP5-8.5) o aumento se diferencia do cenário otimista a partir do horizonte temporal médio no Sudeste (até mais de 20mm de aumento) e no interior do Sudeste e Nordeste com aumento até 15mm.

**Rx5Day**

- O índice Rx5Day (chuva máxima acumulada em cinco dias) é relevante como sinal climático para o impacto biofísico **Deslizamento**;
- A climatologia atual mostra que os cinco dias consecutivos com chuvas fortes (até mais de 300mm) ocorrem no litoral do Nordeste e do estado do Amapá, além de algumas áreas no Sul e Sudeste com até 210mm em cinco dias seguidos;
- No mapa da análise de tendência é difícil constatar um padrão de distribuição espacial tendo várias áreas espalhadas pelo país com aumento do Rx5Day;
- As projeções futuras mostram que no cenário otimista (SSP1-2.6) o Rx5Day aumenta potencialmente em algumas áreas do Sul, Sudeste e Oeste do estado da Amazônia (até 15mm);
- No cenário pessimista (SSP5-8.5) esse aumento é mais expressivo no Nordeste, Sul e Sudeste com áreas com aumento de até 20mm de precipitação em cinco dias consecutivos.

**SDII**

- O índice SDII (índice simples de intensidade pluviométrica diária, ou seja, a quantidade de precipitação anual dividida pelo número de dias com chuva) é relevante como sinal climático para os impactos biofísicos **Assoreamento e Erosão**;
- A climatologia atual mostra os maiores valores (até 36mm/dia) no Amapá e Pará e áreas com valores elevados (até 24mm/dia) no Sul e Sudeste;
- No mapa da análise de tendência é difícil constatar um padrão de distribuição espacial tendo várias áreas espalhadas pelo país com aumento do SDII, porém os mais expressivos estão em partes do Rio Grande do Sul e Paraná;
- As projeções futuras mostram que no cenário otimista (SSP1-2.6) o SDII não mostra aumento expressivo em nenhum horizonte temporal ou área específica;
- No cenário pessimista (SSP5-8.5) o aumento é de até 2mm/dia em áreas do interior do Nordeste e no Sul e mais acentuado nos horizontes temporais mais futuros.

**CWD**

- O índice CWD (número máximo de dias consecutivos com chuva) é relevante como sinal climático para os impactos biofísicos **Alagamento/Inundação e Deslizamento**;
- A climatologia atual mostra que chove mais dias consecutivos na faixa litorânea do Pará e Maranhão (até 20 dias) e no interior do Brasil em geral (até 14 dias);
- No mapa da análise de tendência constata-se que o índice climático CWD aumentou nas regiões onde os valores já são altos, além do interior do Nordeste;
- As projeções futuras mostram que no cenário otimista (SSP1-2.6) o CWD pode ter redução de até 8 dias e um leve aumento, de até 4 dias, em partes do Sudeste no horizonte temporal mais próximo;
- No cenário pessimista (SSP5-8.5) a redução é bem mais expressiva, com diminuição do CWD de até 20 dias no período de 2066-2085.

**Tx3ge**

- O índice Tx3ge (número de dias com temperatura máxima acima de 30°C) é relevante como sinal climático para o impacto biofísico **Incêndio**;
- A climatologia atual mostra que as áreas mais quentes se encontram no interior do Brasil, no geral, e em partes do Nordeste com até 350 dias acima de 30°C;
- O mapa da análise de tendência demonstra que o índice climático Tx3ge aumentou principalmente onde teve menos dias quentes, menos em parte da região Sul, onde ocorreu uma diminuição do Tx3ge;
- As projeções futuras mostram que no cenário otimista (SSP1-2.6) o número de dias com temperatura máxima acima de 30°C vai aumentar potencialmente no Brasil inteiro, até 50 dias, tendo um aumento maior no Norte e Centro-Oeste, com até 100 dias mais quentes por ano;
- No cenário pessimista (SSP5-8.5) o aumento do Tx3ge até 100 dias já ocorre potencialmente no horizonte temporal mais próximo em boa parte do interior e pode aumentar ainda mais até chegar em 200 dias quentes no horizonte temporal futuro nas áreas a Oeste do Norte e Centro-Oeste.

**CDD**

- O índice CDD (número máximo de dias secos consecutivos) é relevante como sinal climático para o impacto biofísico **Incêndio**.
- A climatologia atual mostra que o número de dias secos consecutivos é maior no interior do Nordeste, com até 180 dias seguidos sem precipitação;
- No mapa da análise de tendência é observado que o índice climático CDD aumentou no Nordeste e em parte do Sudeste;
- As projeções futuras mostram que no cenário otimista (SSP1-2.6) o CDD pode aumentar significativamente no Nordeste e em partes do Norte, com até 15 dias a mais de seca;
- No cenário pessimista (SSP5-85) o aumento é mais generalizado pelo Brasil, chegando a até mais 40 dias consecutivos sem precipitação no Nordeste e parte do Norte.

**HWDI**

- O índice HWDI (índice de duração de ondas de calor) é relevante como sinal climático para o impacto biofísico **Incêndio** e os impactos diretos na infraestrutura devido a **altas temperaturas**;
- A climatologia atual mostra que as ondas de calor ocorrem em maior quantidade no Centro-Oeste, Sudeste e especialmente no Sul, onde acontecem até duas vezes por ano.
- O mapa da análise de tendência mostra que o índice climático HWDI aumentou praticamente em todo o Brasil, inclusive partes do Sul, Sudeste e Nordeste;
- As projeções futuras mostram que no cenário otimista (SSP1-2.6) as ondas de calor podem aumentar em até duas vezes no Brasil como um todo e até quatro vezes por ano no Oeste do Centro-Oeste e de Minas Gerais;
- No cenário pessimista (SSP5-8.5) esse aumento é bem mais expressivo no horizonte temporal mais próximo, podendo chegar a mais oito ondas de calor por ano no Oeste do Centro-Oeste, e partes do Sudeste até o horizonte temporal mais futuro.

**Tx7Day**

- O índice Tx7Day (média dos 7 dias consecutivos mais quentes do ano) é relevante como sinal climático para o impacto biofísico **Incêndio** e os impactos diretos na infraestrutura devido a **altas temperaturas**;
- A climatologia atual mostra que partes do interior brasileiro, em especial do Nordeste e Centro-Oeste, tem uma média do Tx7Day de mais de 40°C;
- No mapa da análise de tendência é observado que o índice climático Tx7Day aumentou em boa parte do Brasil, exceto em partes do Sul e Nordeste;
- As projeções futuras mostram que no cenário otimista (SSP1-2.6) o Tx7Day terá um aumento potencial no Brasil entre 2°C e 4°C em quase todo o interior até o horizonte temporal futuro;
- No cenário pessimista (SSP5-8.5) o aumento do cenário otimista, descrito no item anterior, já está previsto para o horizonte mais próximo podendo chegar a até 8°C no horizonte temporal futuro, nas partes Oeste do Norte do país.

## 5. CONCLUSÕES

O presente documento descreveu o processo de seleção e priorização dos critérios e indicadores climáticos e seus limiares, respondendo assim às perguntas norteadoras do Termo de Referência com sucesso, a seguir:

### 5.1 Respostas às Perguntas Norteadoras:

#### PN3.1- “Quais são as principais ameaças climáticas que afetam as infraestruturas de transporte terrestre?”

Baseado na revisão bibliográfica, análise de ocorrências de impactos vs. dados meteorológicos históricos e análise de tendência, foram identificados, em um processo participativo, os índices climáticos relevantes para cada impacto priorizado na etapa 2, além do impacto devido a incêndios e a altas temperaturas (rodovias e ferrovias), que entrarão no Índice de Risco Climático ([Quadro 3 - Índices climáticos selecionados para os impactos priorizados](#)). São eles: chuvas extremas, persistência de chuva, intensidade de chuva, estiagem, temperaturas extremas e ondas de calor.

#### PN3.2- “Quais são os limiares críticos para cada ameaça climática relacionada a cada impacto climático?”

No mesmo processo que definiu as respostas da PN3.1 foram identificados limiares para alguns dos índices climáticos, como 20 mm e 50 mm de precipitação em um dia para potencialmente desencadear deslizamentos, ou 30°C como temperatura máxima do dia para interferir na probabilidade de incêndios.

#### PN3.3- “A frequência e intensidade das ameaças climáticas estão aumentando ou diminuindo?”

As análises feitas em relação às tendências dos índices de chuva apresentam um padrão similar, logo a escolha dos índices climáticos não foi afetada. Esses resultados inesperados se devem provavelmente devido ao período usado na análise. No entanto, os índices de temperatura mostraram uma tendência mais significativa.

#### PN3.4- “A frequência e a intensidade dessas ameaças climáticas irão aumentar ou diminuir no futuro?”

Os dados gerados nessa etapa mostram padrões diferentes por regiões e pequenas áreas no Brasil, tendo áreas com aumento e outras com diminuição dos índices climáticos analisados. Em especial os índices de intensidade e frequência de chuvas extremas irão aumentar enquanto o índice de persistência de chuva (CWD) potencialmente diminuirá.

#### PN3.5- “Quais as regiões e áreas onde as mudanças são mais prováveis?”

Com base na análise de tendência, nos cenários de mudança do clima e no nível de concordância entre os modelos de clima, parece que os indicadores de temperatura (Tx30ge, Tx7day e HWDI) são aqueles onde se encontram mais áreas onde as mudanças são mais prováveis. Espera-se que em partes das regiões Centro-oeste e Sudeste a tendência significativa do aumento do número de dias com temperatura máxima acima de 30°C (Tx30ge) continuará em todos os cenários futuros. A mesma observação vale para o Índice de duração de ondas de calor (Tx7day) que também teve uma tendência significativa no aumento no Estado do Pará. No caso dos índices de precipitação as áreas com tendência significativa são muito pequenas e espalhadas pelo território brasileiro.

Olhando os resultados, me parece que os indicadores de temperatura (Tx30ge, Tx7day e HWDI) são aqueles onde você vai encontrar áreas onde as mudanças são mais prováveis.

Concluimos que a etapa da identificação e customização dos sinais climáticos foi bem-sucedida dentro das possibilidades do estudo. Os resultados apresentam algumas limitações:

- Devido aos desafios que os dados da **análise de Impacto vs. Ocorrência** apresentaram, foi difícil incorporar os resultados na seleção de limiares.
- A bibliografia não é unânime na definição dos índices climáticos que desencadeiam os impactos biofísicos analisados no presente estudo. Existe uma escassez de estudo que visam aprimorar a identificação de índices climáticos específicos para esses impactos biofísicos.
- Para os impactos de **Erosão e Assoreamento** não se conseguiu achar estudos que usaram índices climáticos concretos. Os estudos existentes falam mais em eventos pluviométricos extremos gerais, mas sem detalhar indicadores.
- As modelagens das projeções climáticas futuras, como também do clima atual, estão sujeitas a incertezas, como qualquer modelagem. Essas incertezas deveriam ser tomadas em consideração nos próximos passos do estudo.

À base dessas limitações recomenda-se, para futuros estudos, procurar bases de dados melhores para a análise Impacto vs. Ocorrência, se possível, pois a metodologia em si se mostrou bem aplicável podendo gerar bons resultados com pouco investimento ao ser comparado com outros estudos que potencialmente podem contribuir na identificação e detalhamento de índices climáticos e limiares.

Os próximos passos com os dados de sinais climáticos são a normalização e agregação a índices compostos de sinais climáticos, a ser feito na etapa 5.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHARRON, I. (2016). **A Guidebook on Climate Scenarios: Using Climate Information to Guide Adaptation Research and Decisions**, 2016 Edition. Ouranos, 94p.

DAWSON, R.J.; THOMPSON, D.; JOHNS, D.; GOSLING, S.; CHAPMAN, L.; DARCH, G.; WATSON, G.; POWRIE, W.; BELL, S.; PAULSON, K.; HUGHES, P.; WOOD, R. **UK Climate Change Risk Assessment Evidence Report: Chapter 4, Infrastructure**. Report prepared for the Adaptation Sub-Committee of the Committee on Climate Change, London, 2016.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **Diretrizes básicas para elaboração de estudos e projetos rodoviários**. Escopos Básicos/ Instruções de serviço, 2005a. Disponível em: [http://www1.dnit.gov.br/arquivos\\_internet/ipr/ipr\\_new/manuais/Diretrizes%20Básicas%20para%20Elabora%20de%20Estudos%20e%20Projetos.pdf](http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/Diretrizes%20Básicas%20para%20Elabora%20de%20Estudos%20e%20Projetos.pdf)

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **Manual de Hidrologia Básica para estruturas de drenagem**, 2005b. Disponível em: [https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/715\\_manual\\_de\\_hidrologia\\_basica.pdf](https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/715_manual_de_hidrologia_basica.pdf)

EVANS, C.; TSOLAKIS, D.; NAUDE, C. **Framework to address the climate change impacts on road infrastructure assets and operations**. ARRB Group, Melbourne, 2009. Disponível em: [https://www.australasiantransportresearchforum.org.au/sites/default/files/2009\\_Evans\\_Tsolakis\\_Naude.pdf](https://www.australasiantransportresearchforum.org.au/sites/default/files/2009_Evans_Tsolakis_Naude.pdf) Acesso em: 05 maio 2021.

HEINZ-PETER, B. Risks and consequences of wards on railway infrastructure. **Journal of Polish Safety and Reliability Association**, v. 8(1), p. 1-11, 2017.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Summary for Policymakers**. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. In Press. 2021.

KENDALL, M. G. & GIBBONS, J. D. **Rank Correlation Methods**. London, 1990.

KORN, M. et al. RIVA - Risikoanalyse wichtiger Verkehrsachsen des Bundesfernstraßennetzes im Kontext des Klimawandels. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen. Straßenbau. Heft S 109, 2017.

LANGE, W. **Relatório final sobre medidas de adaptação baseadas em ecossistemas em comunidades de Salvador**. Elaborado no âmbito do Projeto ProAdapta – Apoio ao Governo do Brasil na implementação da sua agenda nacional de adaptação à mudança do clima. Documento interno & não publicado, 2019

MARENGO, J.A. et al. **Extreme Rainfall and Hydro-Geo-Meteorological Disaster Risk in 1.5, 2.0, and 4.0°C Global Warming Scenarios: An Analysis for Brazil**. Front. Clim. 3:610433, 2021.

MULHOLLAND, Eamonn; FEYEN, Luc. Increased risk of extreme heat to European roads and railways with global warming. **Climate Risk Management**, v. 34, p. 100365, 2021.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Potential Impacts of Climate Change on U.S. Transportation: Special Report 290. Washington, D.C.: **Transportation Research Board**, 2008.

NEMRY, F.; DEMIREL, H. Impacts of climate change on transport: a focus on road and rail transport infrastructures. Luxembourg: **Publications Office**, 2012.

SEA – SECRETARIA DE ASSUNTOS ESTRATÉGICOS. Adaptação às Mudanças do Clima: Infraestrutura de Transporte. Produto 2 – Definição das variáveis climáticas relevantes e definição dos hotspots. **Estudos do Projeto Brasil 2040**. Brasília, 2015. Disponível em: [http://www.centroclima.coppe.ufrj.br/images/documentos/TransportesProduto\\_2.pdf](http://www.centroclima.coppe.ufrj.br/images/documentos/TransportesProduto_2.pdf)

SETZER et al. Método do cálculo do risco de fogo do programa do INPE - Versão 11, INPE, <http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/3UEDKUB>, 2019.

SPEIGHT, James G. **Asphalt materials science and technology**. Butterworth-Heinemann is, 2016.

SONG, Y.; WRIGHT, G.; WU, P.; THATCHER, D.; MCHUGH, T.; LI, Q.; ... WANG, X. Segment-Based Spatial Analysis for Assessing Road Infrastructure Performance Using Monitoring Observations and Remote Sensing Data. **Remote Sensing**, 10(11), 1696, 2018. doi:10.3390/rs10111696

WORLD BANK. **Climate and Disaster Risk Screening - Sector Screening Guidance note Transportation sector** [s. l.], 2017. Disponível em: [https://climatescreeningtools.worldbank.org/sites/default/files/guidance\\_note/TRANSPORTATION\\_Guidance\\_Note.pdf](https://climatescreeningtools.worldbank.org/sites/default/files/guidance_note/TRANSPORTATION_Guidance_Note.pdf). Acesso em: 20 abr. 2021.

| Modal     | Impacto biofísico  | Indicador climático                                 | Acrônimo / abreviação | Argumentos para a escolha do indicador   |
|-----------|--|---|-----------------------|--|
| Rodovias  | Alagamento/Inundação   | Número de dias com chuva igual ou maior a 20 mm     | R20mm                 | Indica Frequência de extremos de chuva. Identificado na literatura (p.ex., KORN, 2017, LANGE, 2019) e na análise de impacto X chuva.   |
|           |  | Chuva máxima acumulada em 1 dia                     | Rx1day                | Indica Intensidade de extremos de chuva. Identificado na literatura (p.ex., DNIT, 2005 a, LANGE, 2019, MARENGO et al., 2021). Equivalente ao Tempo de Recorrência de 1 ano.            |
|           |  | Número máximo de dias consecutivos com chuva        | CWD                   | Indica Persistência de chuva (LANGE, 2019, MARENGO et al. 2021).   |
|           | Assoreamento   | Número de dias com chuva igual ou maior a 20 mm     | R20mm                 | Indica Frequência de extremos de chuva. Identificado na literatura (p.ex., KORN, 2017, LANGE, 2019) e na análise de impacto X chuva.   |
|           |  | Chuva máxima acumulada em 1 dia                     | Rx1day                | Indica Intensidade de extremos de chuva. Identificado na literatura (p.ex., DNIT, 2005 a, LANGE, 2019, MARENGO et al., 2021). Equivalente ao Tempo de Recorrência de 1 ano.            |
|           |  | Índice de intensidade de precipitação simples       | SDII                  | Indica Intensidade de extremos de chuva. Sugerido pelo Comitê Gestor.  |
|           | Erosão   | Número de dias com chuva igual ou maior a 20 mm     | R20mm                 | Indica Frequência de extremos de chuva. Identificado na literatura (p.ex., KORN, 2017, LANGE, 2019) e na análise de impacto X chuva.   |
|           |  | Chuva máxima acumulada em 1 dia                     | Rx1day                | Indica Intensidade de extremos de chuva. Identificado na literatura (p.ex., DNIT, 2005 a, LANGE, 2019, MARENGO et al., 2021). Equivalente ao Tempo de Recorrência de 1 ano.            |
|           |  | Índice de intensidade de precipitação simples       | SDII                  | Indica Intensidade de extremos de chuva. Sugerido pelo Comitê Gestor.  |
|           | Incêndio   | Número de dias com temperatura máxima acima de 30°C | TXge30                | Indica Frequência de temperaturas altas (SETZER, 2019).  |
|           |  | Número máximo de dias secos consecutivos            | CDD                   | Indica Persistência de seca (SETZER, 2019).  |
|           |  | Índice de duração de ondas de calor                 | HWDI                  | Indica Persistência de temperaturas altas (SEA, 2015, SETZER, 2019).   |
| Ferrovias | Erosão   | Índice de duração de ondas de calor                 | HWDI                  | Indica Persistência de temperaturas altas (SEA, 2015, SETZER, 2019).   |
|           |  | Média dos 7 dias consecutivos mais quentes do ano   | Tx7day                | Indica Persistência de temperaturas altas (SEA, 2015)  |
|           |  | Número de dias com chuva igual ou maior a 20 mm     | R20mm                 | Indica Frequência de extremos de chuva. Identificado na literatura (p.ex., KORN, 2017, LANGE, 2019) e na análise de impacto X chuva.   |
|           | Deslizamento   | Chuva máxima acumulada em 1 dia                     | Rx1day                | Indica Intensidade de extremos de chuva. Identificado na literatura (p.ex., DNIT, 2005 a, Lange, 2019, MARENGO et al., 2021). Equivalente ao Tempo de Recorrência de 1 ano.            |
|           |  | Índice de intensidade de precipitação simples       | SDII                  | Indica Intensidade de extremos de chuva. Sugerido pelo Comitê Gestor.  |
|           |  | Número de dias com chuva igual ou maior a 50 mm     | R50mm                 | Indica Frequência de extremos de chuva. Identificado na literatura (p.ex., DNIT, 2005 a, LANGE 2019) e na análise de impacto X chuva.  |
|           |  | Chuva máxima acumulada em 5 dias                    | Rx5day                | Indica Intensidade de extremos de chuva. Identificado na literatura (p.ex., DNIT, 2005 a, KORN, 2017, Lange, 2019, MARENGO et al. 2021). Equivalente ao Tempo de Recorrência de 1 ano. |
|           |  | Número máximo de dias consecutivos com chuva        | CWD                   | Indica Persistência de chuva (LANGE, 2019, MARENGO et al. 2021).   |
|           | Impacto diário devido à altas temperaturas e ondas de calor (expansão térmica e flambagem) | Índice de duração de ondas de calor                 | HWDI                  | Indica Persistência de temperaturas altas (SEA, 2015, SETZER, 2019).   |
|           |  | Média dos 7 dias consecutivos mais quentes do ano   | Tx7day                | Indica Persistência de temperaturas altas (SEA, 2015)  |

## **ANEXO II. NORMAS DE ESPECIFICAÇÃO DE SERVIÇO (DNIT)**

### **PRODUTO 3 – RELATÓRIO DE IDENTIFICAÇÃO DAS AMEAÇAS CLIMÁTICAS**

Dezembro de 2021

Consultoria: Associação GITEC/COPPE

### LISTA DE QUADROS

|  |   |
|--|---|
| <b>Quadro 1</b> – Normas de Especificação de Serviço de Drenagem.....                          | 3 |
| <b>Quadro 2</b> – Normas de Especificação de Serviço de Terraplenos e Passivos Ambientais..... | 3 |
| <b>Quadro 3</b> – Normas de Especificação de Serviço de Obras de Arte Especiais.....           | 4 |

### ÍNDICE

|   |   |
|---|---|
| 1. QUADROS COM NORMAS DE ESPECIFICAÇÃO DE SERVIÇO DO DNIT ..... | 3 |
| 2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....                              | 5 |

## 1. QUADROS COM NORMAS DE ESPECIFICAÇÃO DE SERVIÇO DO DNIT

**Quadro 1** – Normas de Especificação de Serviço de Drenagem

| ITEM | ESPECIFICAÇÕES   |
|------|--|
| 1    | DNIT 020/2006-ES - Drenagem - Meios-fios e Guias                                 |
| 2    | DNIT 021/2004-ES - Drenagem - Entradas e Descidas d'água                         |
| 3    | DNIT 022/2006-ES - Drenagem - Dissipadores de Energia                            |
| 4    | DNIT 023/2006-ES - Drenagem - Bueiros tubulares de concreto                      |
| 5    | DNIT 025/2004-ES - Drenagem - Bueiros celulares de concreto                      |
| 6    | DNIT 026/2004-ES - Drenagem - Caixas coletoras                                   |
| 7    | DNIT 027/2004-ES - Drenagem - Demolição de dispositivos de concreto              |
| 8    | DNIT 028/2004-ES - Drenagem - Limpeza e desobstrução de dispositivos de drenagem |
| 9    | DNIT 029/2004-ES - Drenagem - Restauração de dispositivos de drenagem danificada |
| 10   | DNIT 085/2006-ES - Demolição e Remoção de Pavimentos: Asfalto ou Concreto        |
| 11   | DNIT 086/2006-ES - Recuperação de sistema de drenagem                            |

Fonte: Elaboração própria a partir de DNIT (2005a e 2005b).

**Quadro 2** – Normas de Especificação de Serviço de Terraplenos e Passivos Ambientais

| ITEM | ESPECIFICAÇÕES   |
|------|--|
| 1    | DNIT 023/2006-ES - Drenagem - Bueiros tubulares de concreto  |
| 2    | DNIT 025/2004-ES - Drenagem - Bueiros celulares de concreto  |
| 3    | DNIT 027/2004-ES - Drenagem - Demolição de dispositivos de concreto  |
| 4    | DNIT 028/2004-ES - Drenagem - Limpeza e desobstrução de dispositivos de drenagem   |
| 5    | DNIT 031/2006-ES - Pavimentos Flexíveis - Concreto Asfáltico   |
| 6    | DNIT 071/2006-ES - Tratamento Ambiental de áreas de uso de obras de passivo ambiental de áreas consideradas planas ou de pouca declividade por vegetação herbácea            |
| 7    | DNIT 073/2006-ES - Tratamento Ambiental de áreas de uso de obras de passivo ambiental de áreas consideradas planas ou de pouca declividade por vegetação arbórea e arbustiva |
| 8    | DNIT 074/2006-ES - Tratamento Ambiental de taludes e encostas por intermédio de dispositivos de controle de processos erosivos   |
| 9    | DNIT 075/2006-ES - Tratamento Ambiental de Taludes com solos inconsistentes  |
| 10   | DNIT 077/2006-ES - Cerca viva ou de tela para proteção de fauna  |
| 11   | DNIT 096/2006-ES - Drenagem - Bueiros de concreto tipo mini túnel - sem interrupção de tráfego   |
| 12   | DNIT 101/2009-ES - Obras Complementares - Segurança no Tráfego Rodoviário - Sinalização Vertical   |

Fonte: Elaboração própria a partir de DNIT (2005a e 2005b).

**Quadro 3 – Normas de Especificação de Serviço de Obras de Arte Especiais**

| ESPECIFICAÇÕES   |
|--|
| DNIT 074/2006-ES - Tratamento Ambiental de taludes e encostas por intermédio de dispositivos de controle de processos erosivos |
| DNIT 080/2006-ES - Preparação de superfícies de concreto - Apicoamento e Jateamentos   |
| DNIT 081/2006-ES - Remoções no concreto  |
| DNIT 082/2006-ES - Furos no concreto para ancoragem de armaduras   |
| DNIT 083/2006-ES - Tratamento de trincas e fissuras  |
| DNIT 084/2006-ES - Tratamento da corrosão  |
| DNIT 086/2006-ES - Recuperação de sistema de drenagem  |
| DNIT 087/2006-ES - Execução e Acabamento do concreto projetado   |
| DNIT 088/2006-ES - Dispositivos de Segurança Lateral: Guarda-rodas, Guarda-corpos e Barreiras                                  |
| DNIT 090/2006-ES - Patologias do concreto  |
| DNIT 091/2006-ES - Tratamento de aparelhos de apoio: concreto, neoprene e metálicos  |
| DNIT 092/2006-ES - Juntas de dilatação   |
| DNIT 101/2009-ES - Obras Complementares - Segurança no Tráfego Rodoviário - Sinalização Vertical                               |
| DNIT 110/2009-ES - Obras Complementares - Segurança no Tráfego Rodoviário - Execução de barreiras de concreto                  |
| DNIT 116/2009-ES - Pontes e Viadutos Rodoviários - Serviços Preliminares   |
| DNIT 117/2009-ES - Pontes e Viadutos Rodoviários - Concretos, argamassas e calda de cimento para injeção                       |
| DNIT 118/2009-ES - Pontes e Viadutos Rodoviários - Armaduras para concreto armado  |
| DNIT 120/2009-ES - Pontes e Viadutos Rodoviários - Fôrmas  |
| DNIT 121/2009-ES - Pontes e Viadutos Rodoviários - Fundações   |
| DNIT 122/2009-ES - Pontes e Viadutos Rodoviários - Estruturas de concreto armado   |
| DNIT 124/2009-ES - Pontes e Viadutos Rodoviários - Escoramentos  |
| DNER-ES 144/85 - Defensas Metálicas  |

Fonte: Elaboração própria a partir de DNIT (2005a e 2005b).

## 2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **Diretrizes básicas para elaboração de estudos e projetos rodoviários**. Escopos Básicos/ Instruções de serviço, 2005a. Disponível em:

[http://www1.dnit.gov.br/arquivos\\_internet/ipr/ipr\\_new/manuais/Diretrizes%20B%E1sicas%20para%20Elabora%E7%E3o%20de%20de%20Estudos%20e%20Projetos.pdf](http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/Diretrizes%20B%E1sicas%20para%20Elabora%E7%E3o%20de%20de%20Estudos%20e%20Projetos.pdf)

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **Manual de Hidrologia Básica para estruturas de drenagem**, 2005b. Disponível em: [https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/715\\_manual\\_de\\_hidrologia\\_basica.pdf](https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/715_manual_de_hidrologia_basica.pdf)

## **ANEXO IV. FIGURAS E MAPAS RESULTADOS DOS CÁLCULOS DAS MODELAGENS DA CLIMATOLOGIA ATUAL E FUTURA E DA TENDÊNCIA POR ÍNDICE CLIMÁTICO**

### **PRODUTO 3 – RELATÓRIO DE IDENTIFICAÇÃO DAS AMEAÇAS CLIMÁTICAS**

Janeiro de 2022

Consultoria: Associação GITEC/COPPE

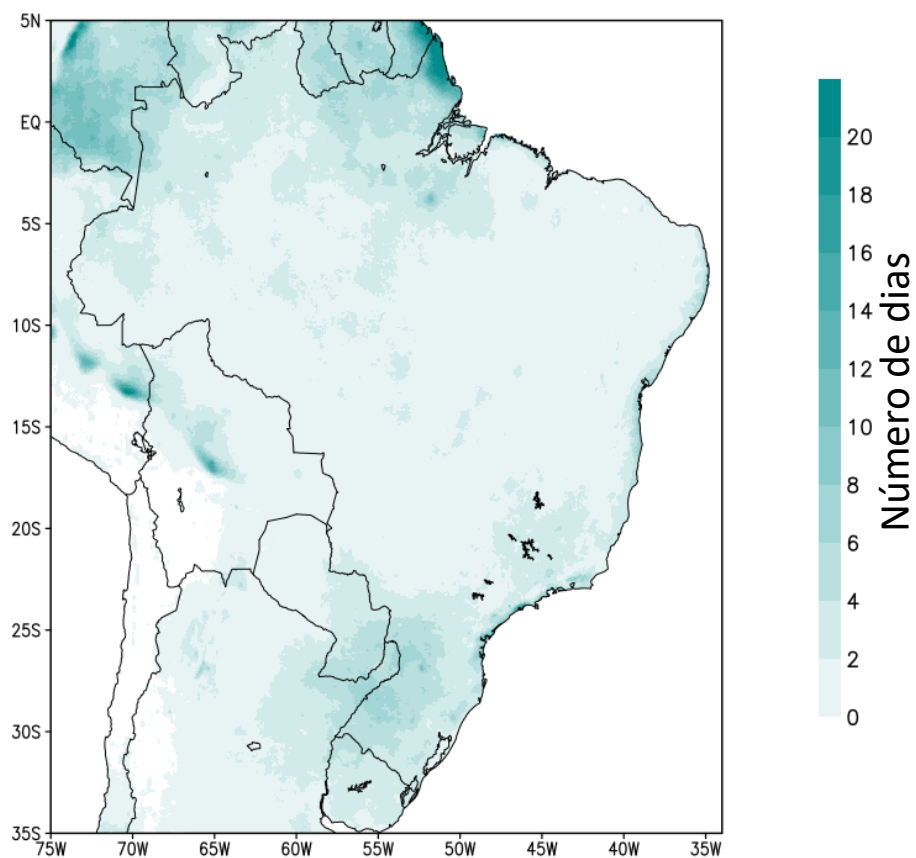
### LISTA DE FIGURAS

|  |         |
|--|---------|
| <b>Figura 1</b> – Mapas da distribuição atual do índice climático R50mm, as potenciais anomalias futuras e a tendência (a área riscada/hachurada significa que a tendência não é estatisticamente significativa).  | 3 - 4   |
| <b>Figura 2</b> – Mapas da distribuição atual do índice climático Rx1Day, as potenciais anomalias futuras e a tendência (a área riscada/hachurada significa que a tendência não é estatisticamente significativa). | 5 - 6   |
| <b>Figura 3</b> – Mapas da distribuição atual do índice climático Rx5Day, as potenciais anomalias futuras e a tendência (a área riscada/hachurada significa que a tendência não é estatisticamente significativa). | 7 - 8   |
| <b>Figura 4</b> – Mapas da distribuição atual do índice climático SDII, as potenciais anomalias futuras e a tendência (a área riscada/hachurada significa que a tendência não é estatisticamente significativa).   | 9 - 10  |
| <b>Figura 5</b> – Mapas da distribuição atual do índice climático CWD, as potenciais anomalias futuras e a tendência (a área riscada/hachurada significa que a tendência não é estatisticamente significativa).    | 11 - 12 |
| <b>Figura 6</b> – Mapas da distribuição atual do índice climático Tx30ge, as potenciais anomalias futuras e a tendência (a área riscada/hachurada significa que a tendência não é estatisticamente significativa). | 13 - 14 |
| <b>Figura 7</b> – Mapas da distribuição atual do índice climático CDD, as potenciais anomalias futuras e a tendência (a área riscada/hachurada significa que a tendência não é estatisticamente significativa).    | 15 - 16 |
| <b>Figura 8</b> – Mapas da distribuição atual do índice climático HWDI, as potenciais anomalias futuras e a tendência (a área riscada/hachurada significa que a tendência não é estatisticamente significativa).   | 17 - 18 |
| <b>Figura 9</b> – Mapas da distribuição atual do índice climático Tx7Day, as potenciais anomalias futuras e a tendência (a área riscada/hachurada significa que a tendência não é estatisticamente significativa). | 19 - 20 |

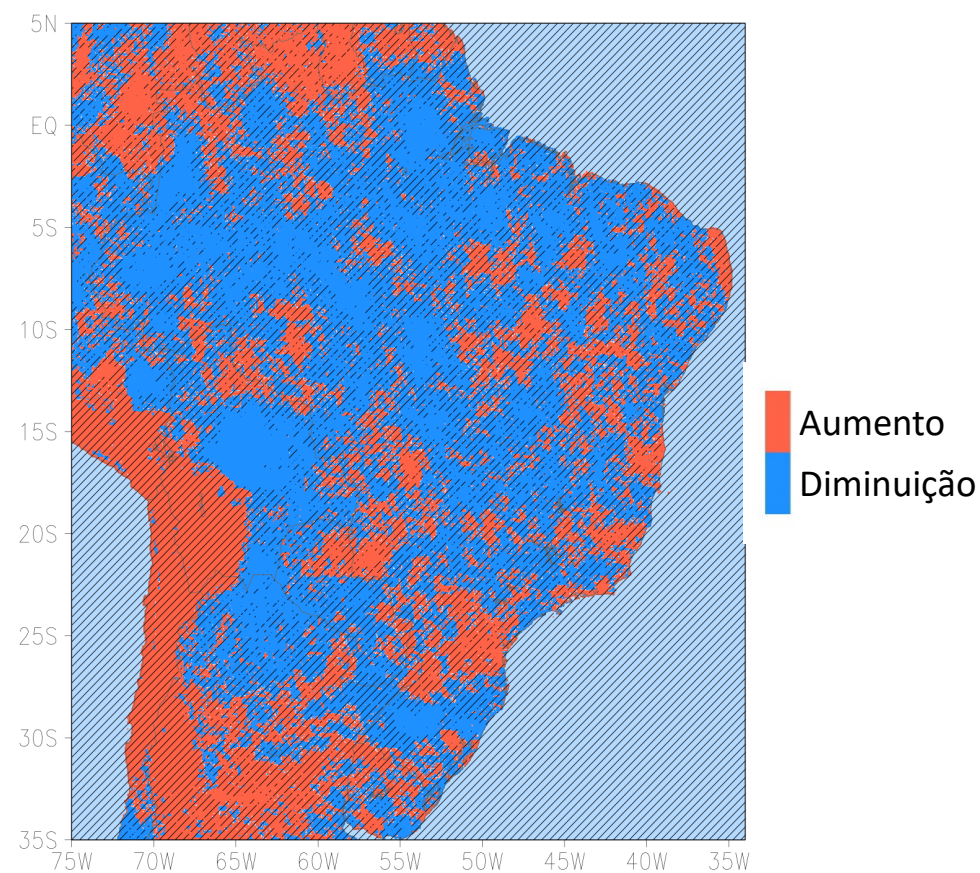
**Figura 1** – Mapas da distribuição atual do índice climático R50mm, as potenciais anomalias futuras e a tendência (a área riscada/hachurada significa que a tendência não é estatisticamente significativa).

## Atual

### Climatologia (1981-2000)

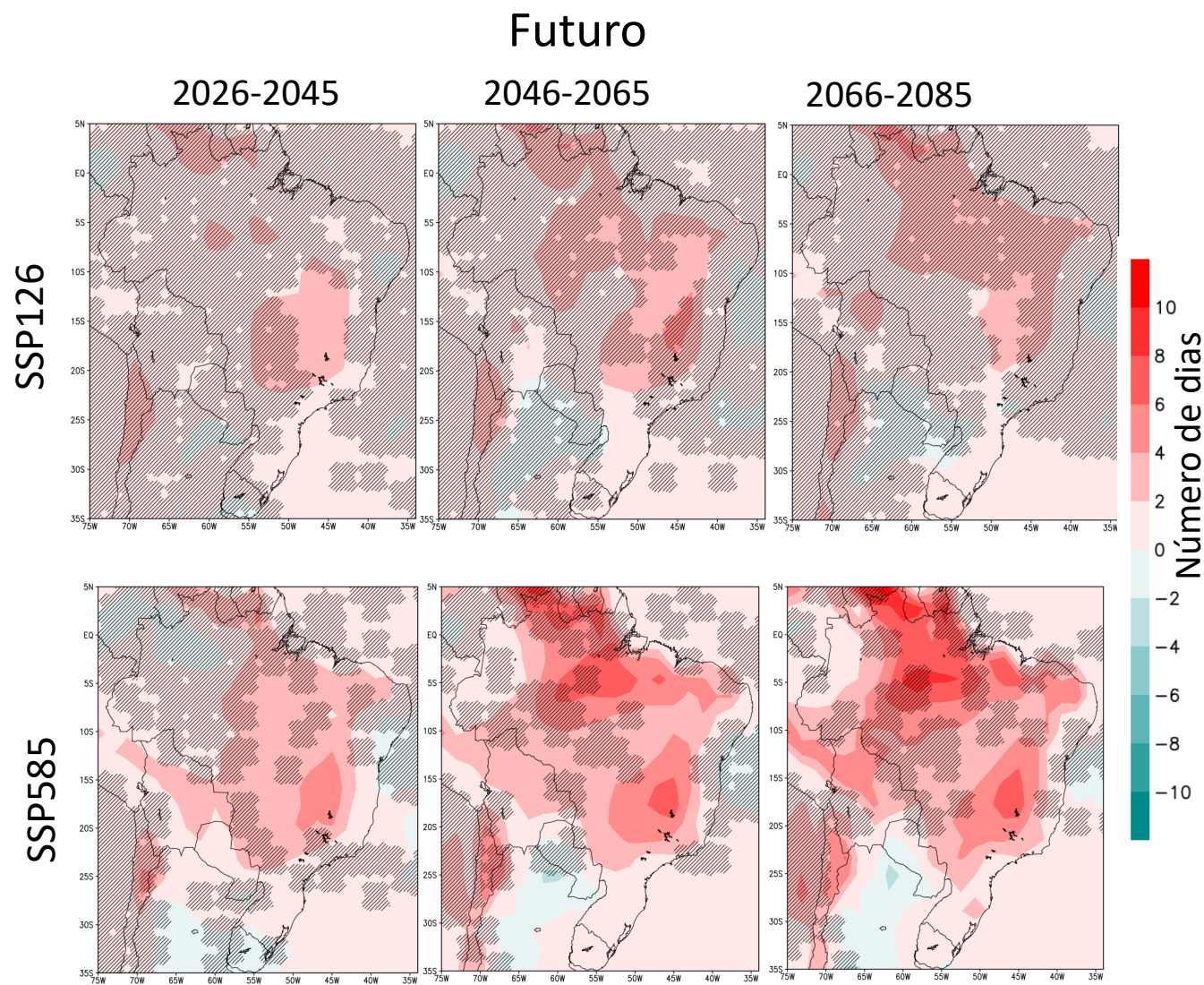


## Tendência



Fonte: elaboração própria (2021).

**Figura 1** – Mapas da distribuição atual do índice climático R50mm, as potenciais anomalias futuras e a tendência (a área riscada/hachurada significa que a tendência não é estatisticamente significativa). **(continuação)**

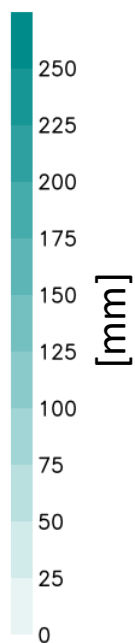
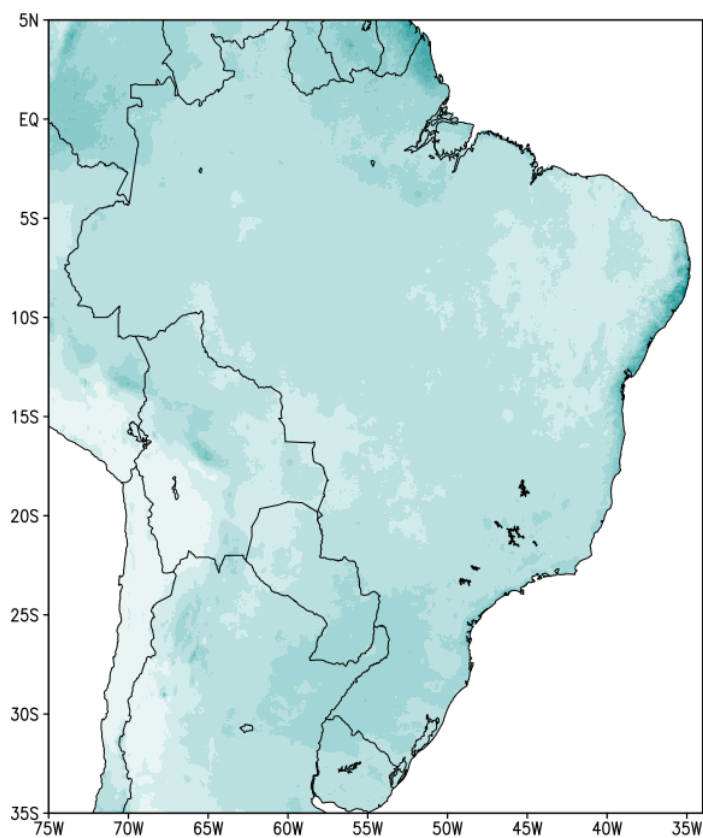


Fonte: elaboração própria (2021).

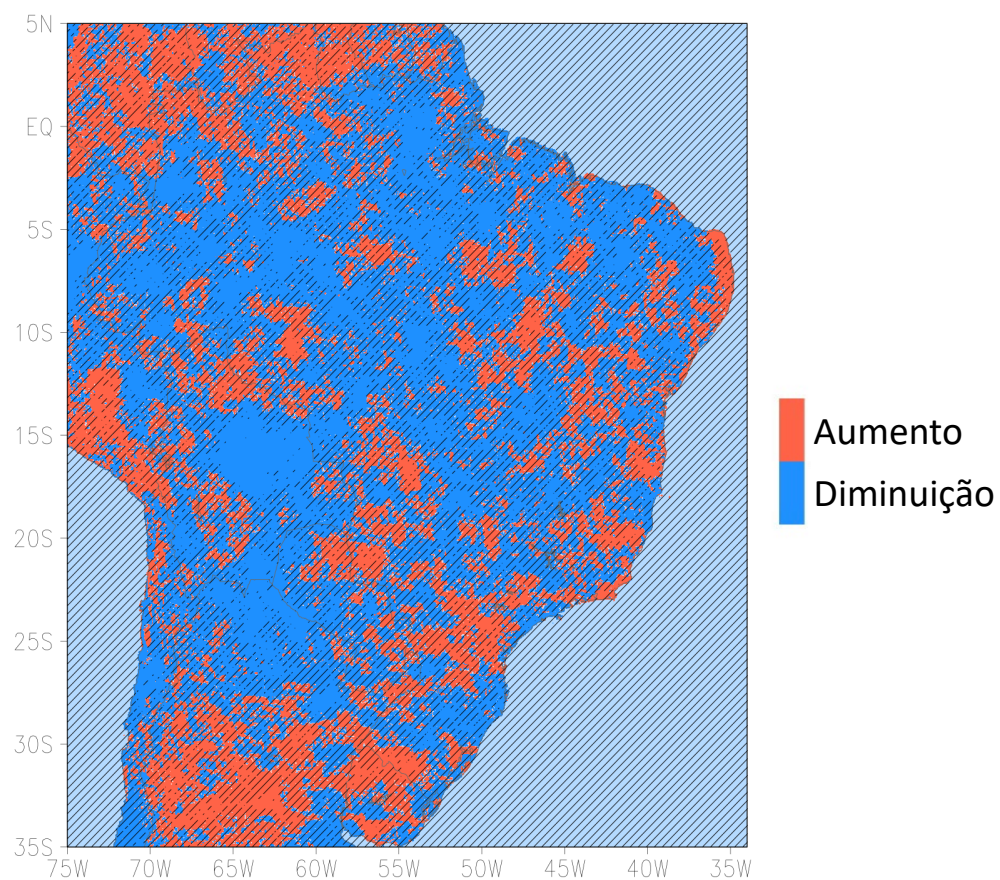
**Figura 2** – Mapas da distribuição atual do índice climático Rx1Day, as potenciais anomalias futuras e a tendência (a área riscada/hachurada significa que a tendência não é estatisticamente significativa).

## Atual

### Climatologia (1981-2000)

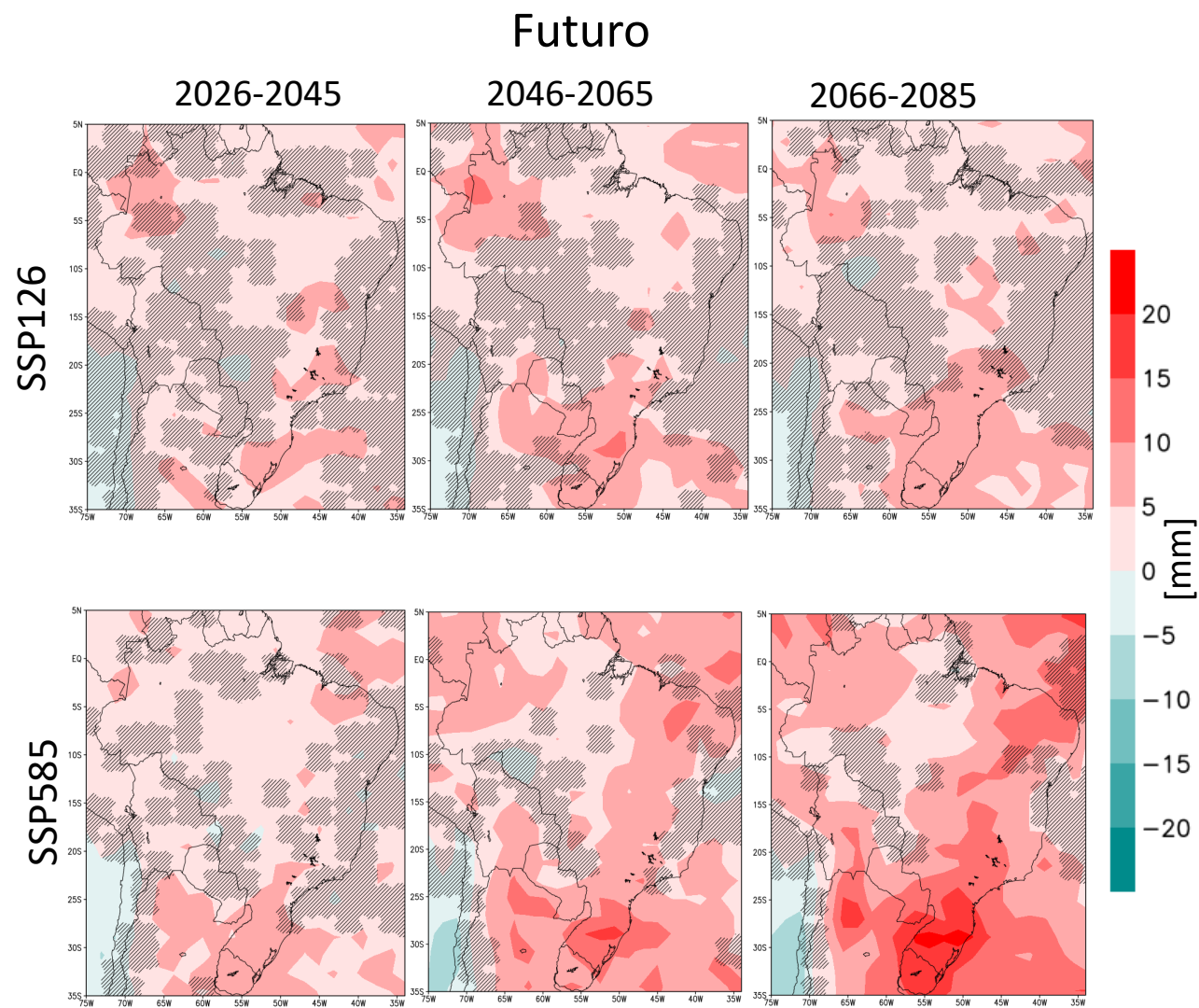


## Tendência



Fonte: elaboração própria (2021).

**Figura 2** – Mapas da distribuição atual do índice climático Rx1Day, as potenciais anomalias futuras e a tendência (a área riscada/hachurada significa que a tendência não é estatisticamente significativa). **(continuação)**

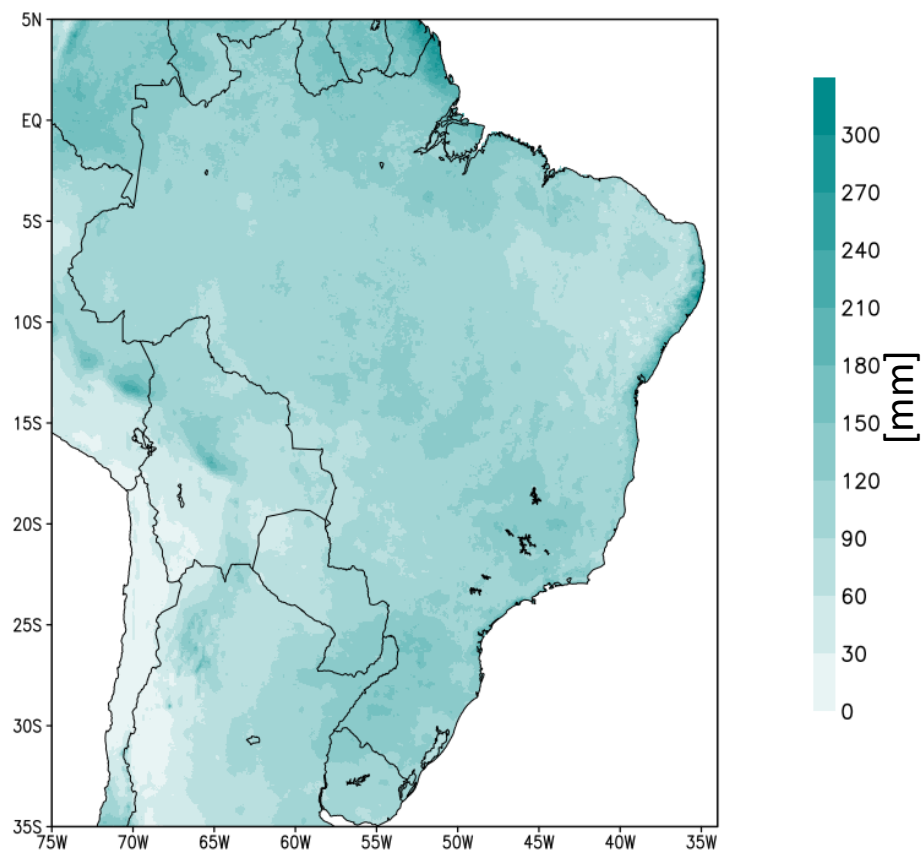


Fonte: elaboração própria (2021).

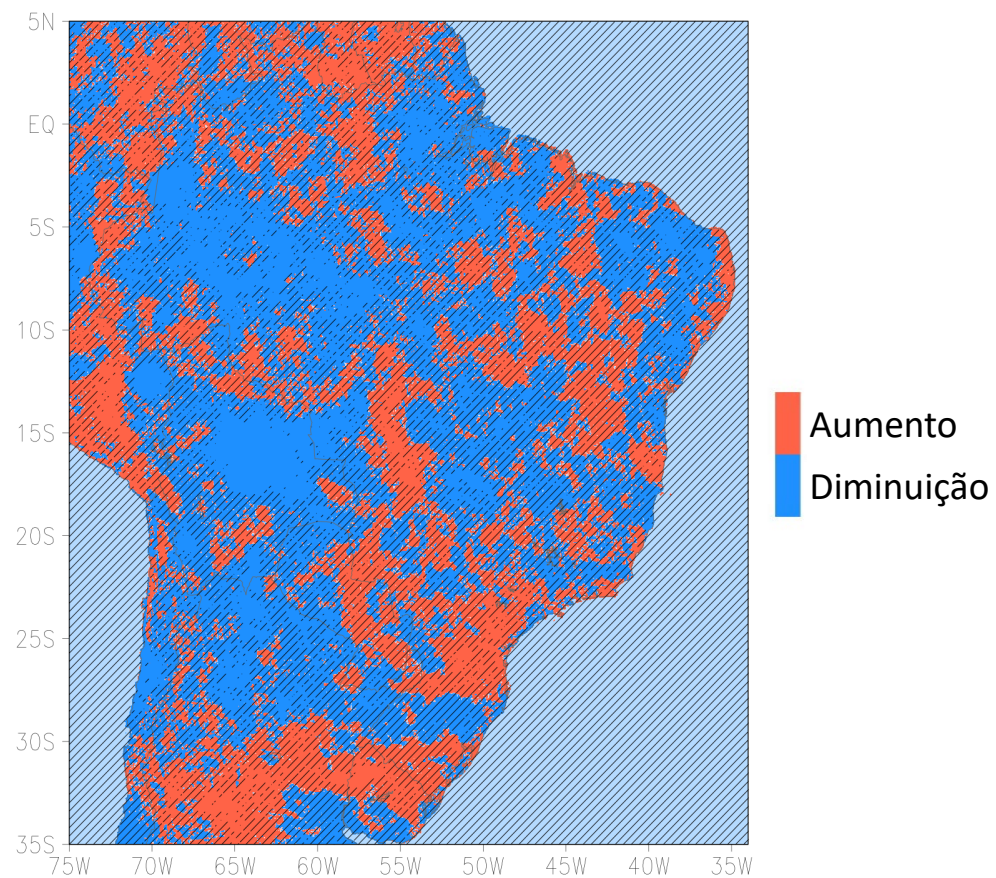
**Figura 3** – Mapas da distribuição atual do índice climático Rx5Day, as potenciais anomalias futuras e a tendência (a área riscada/hachurada significa que a tendência não é estatisticamente significativa).

## Atual

Climatologia (1981-2000)

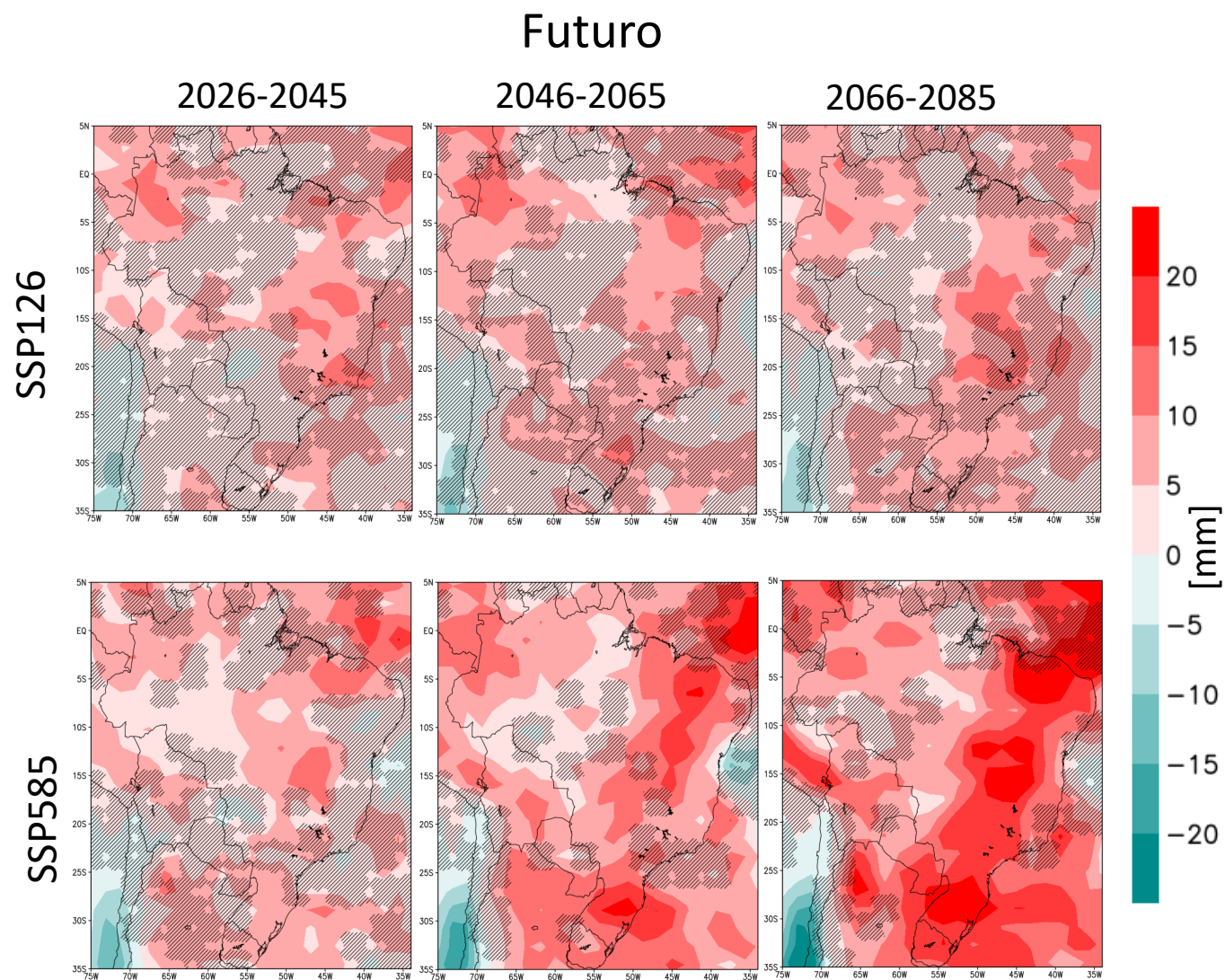


## Tendência



Fonte: elaboração própria (2021).

**Figura 3** – Mapas da distribuição atual do índice climático Rx5Day, as potenciais anomalias futuras e a tendência (a área riscada/hachurada significa que a tendência não é estatisticamente significativa). **(continuação)**

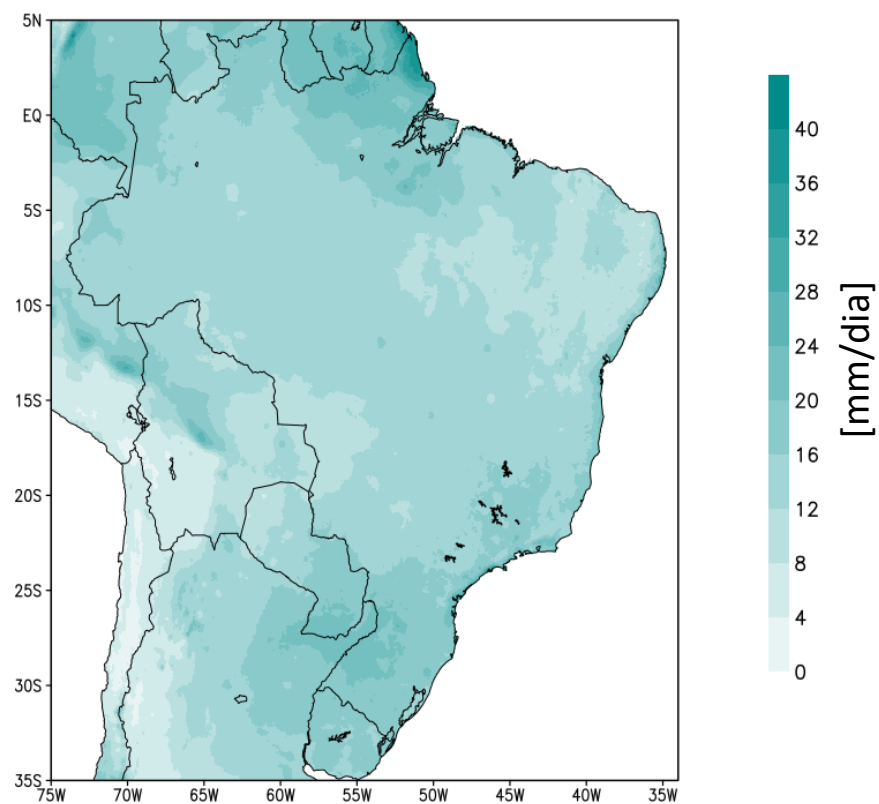


Fonte: elaboração própria (2021).

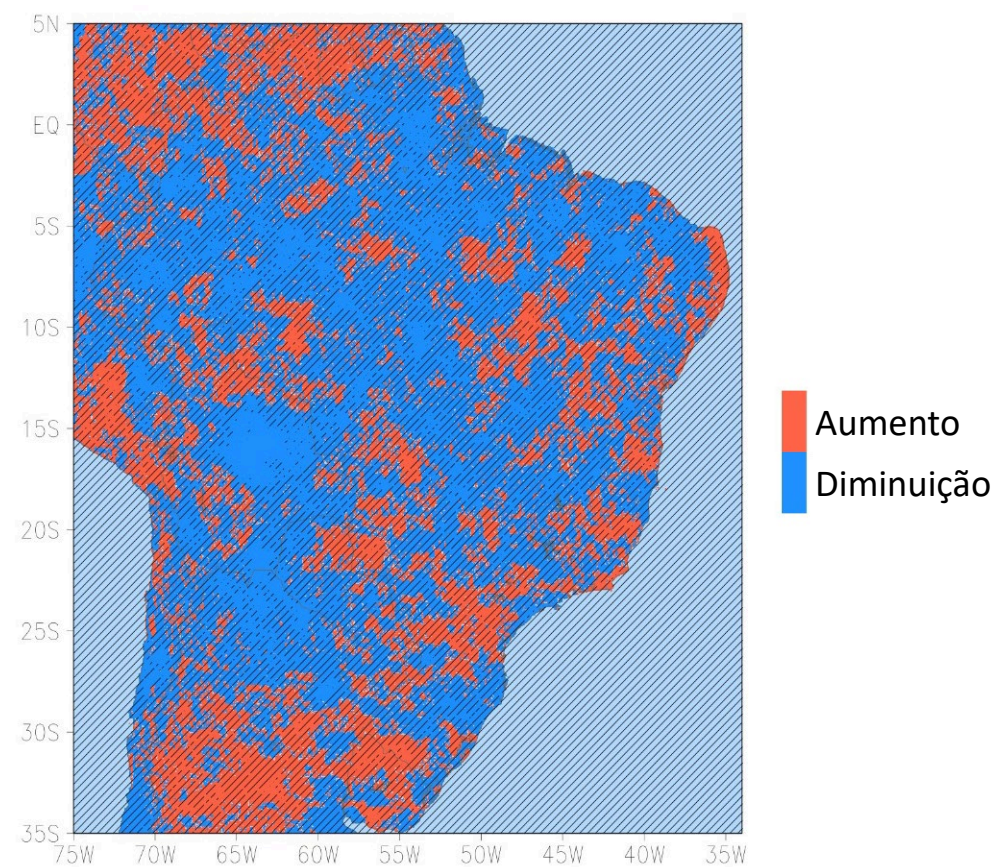
**Figura 4** – Mapas da distribuição atual do índice climático SDII, as potenciais anomalias futuras e a tendência (a área riscada/hachurada significa que a tendência não é estatisticamente significativa).

## Atual

Climatologia (1981-2000)

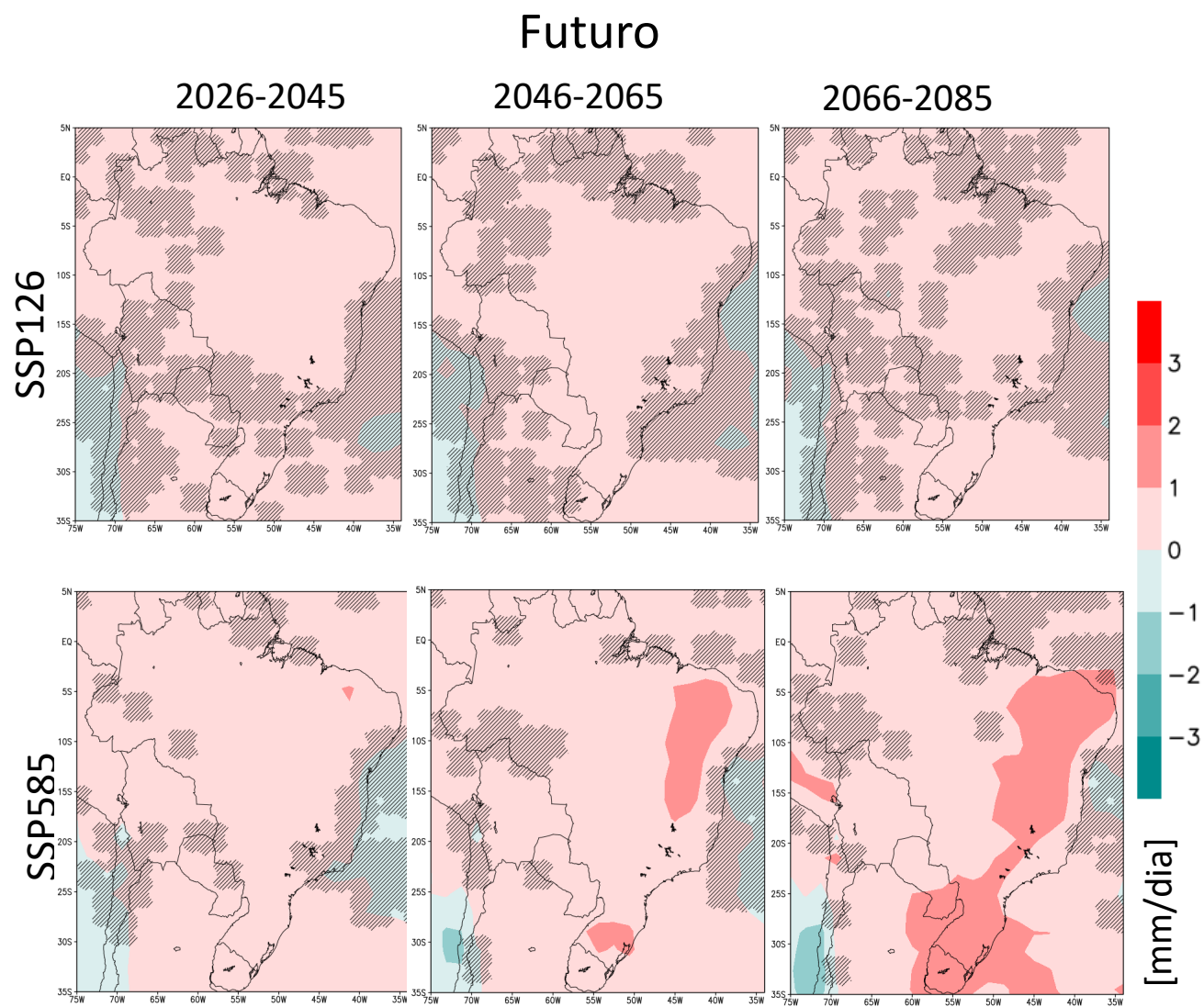


## Tendência



Fonte: elaboração própria (2021).

**Figura 4** – Mapas da distribuição atual do índice climático SDII, as potenciais anomalias futuras e a tendência (a área riscada/hachurada significa que a tendência não é estatisticamente significativa). **(continuação)**

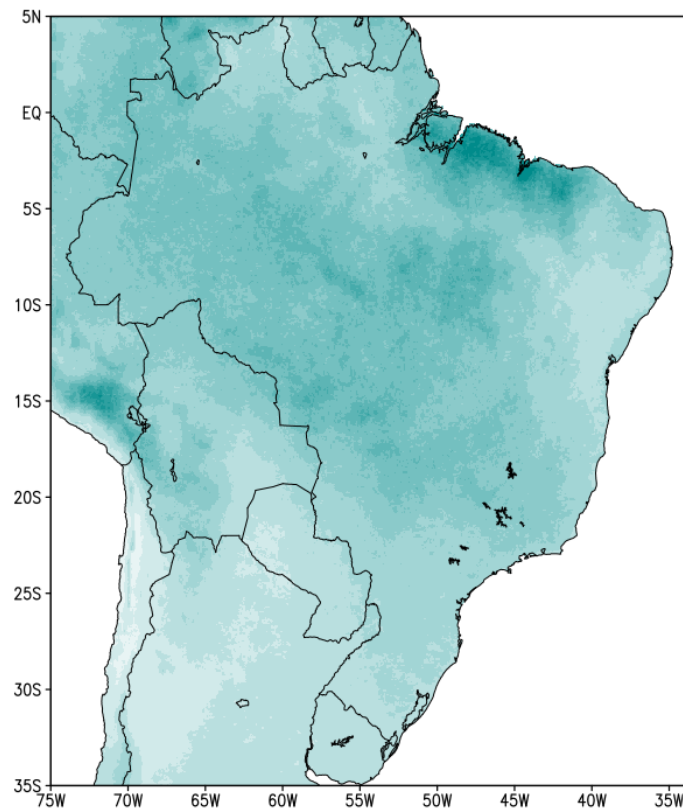


Fonte: elaboração própria (2021).

**Figura 5** – Mapas da distribuição atual do índice climático CWD, as potenciais anomalias futuras e a tendência (a área riscada/hachurada significa que a tendência não é estatisticamente significativa).

## Atual

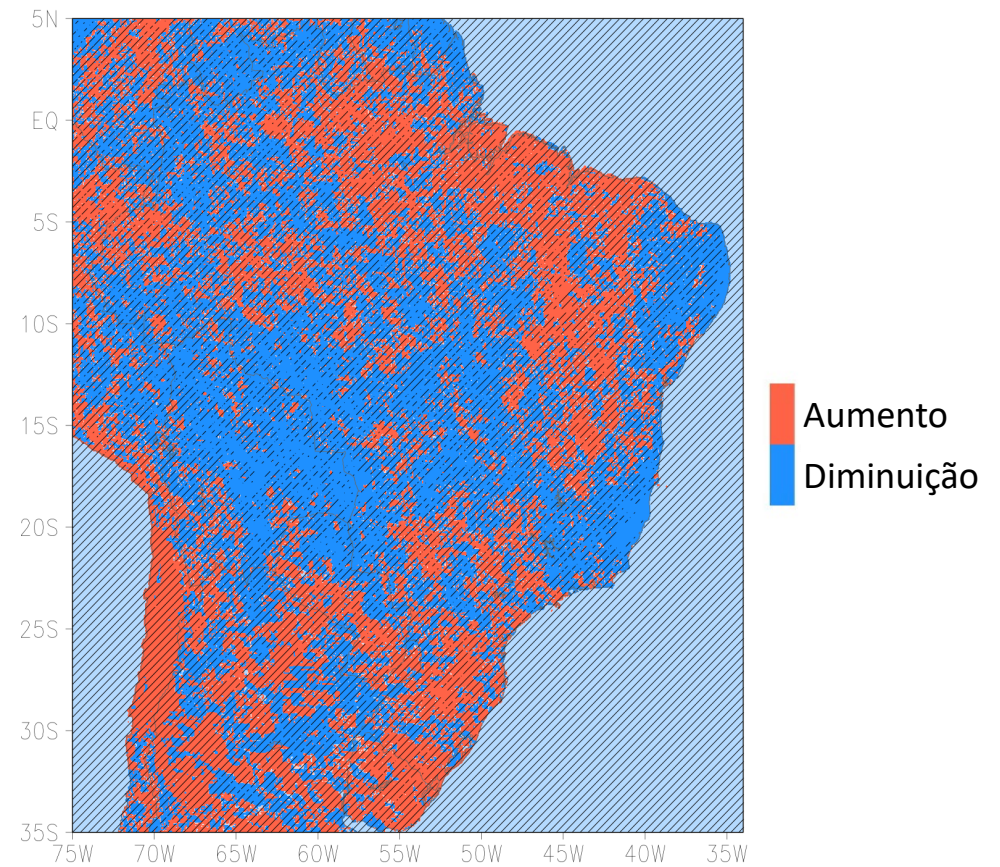
Climatologia (1981-2000)



Número de dias

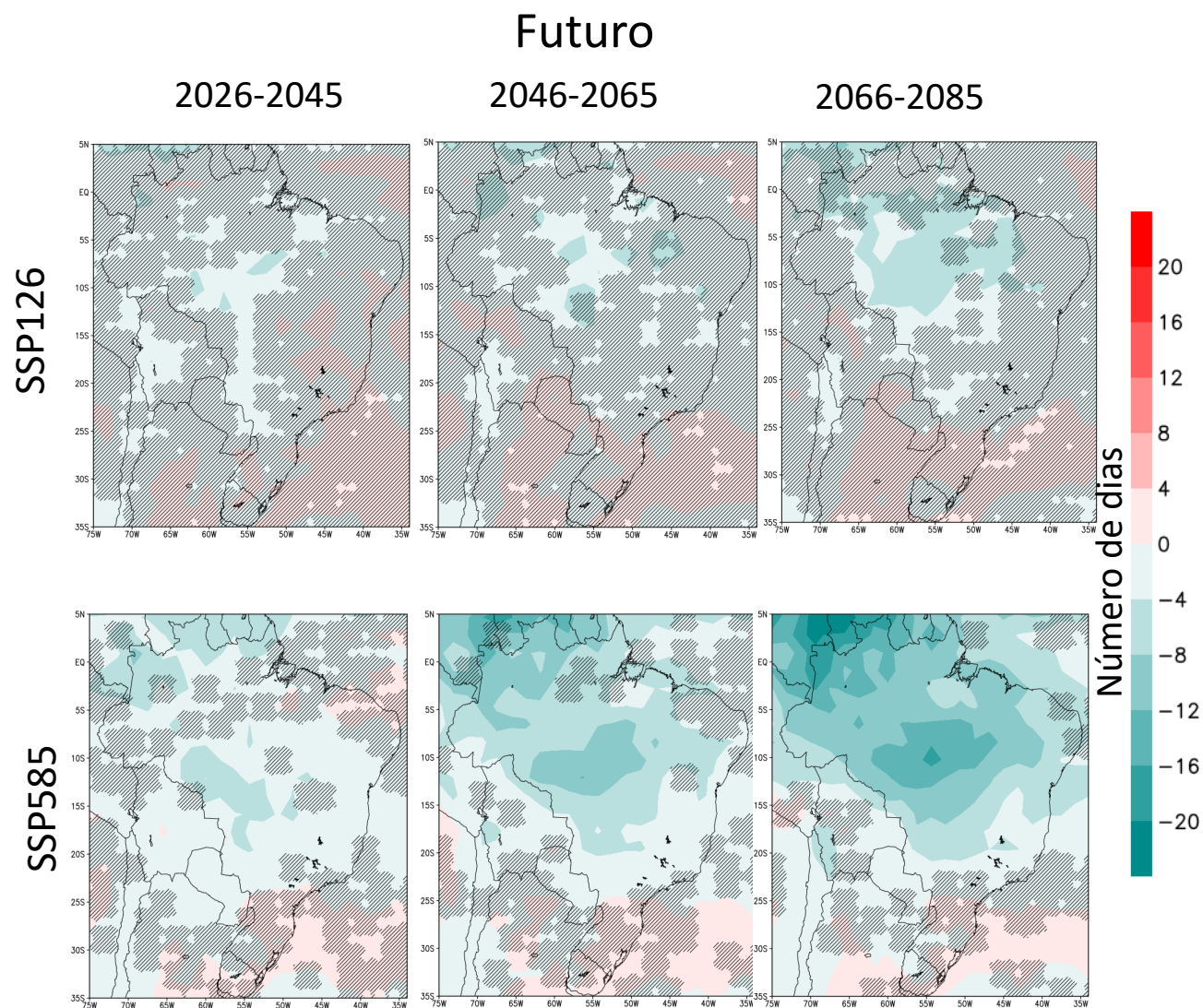
20  
18  
16  
14  
12  
10  
8  
6  
4  
2  
0

## Tendência



Fonte: elaboração própria (2021).

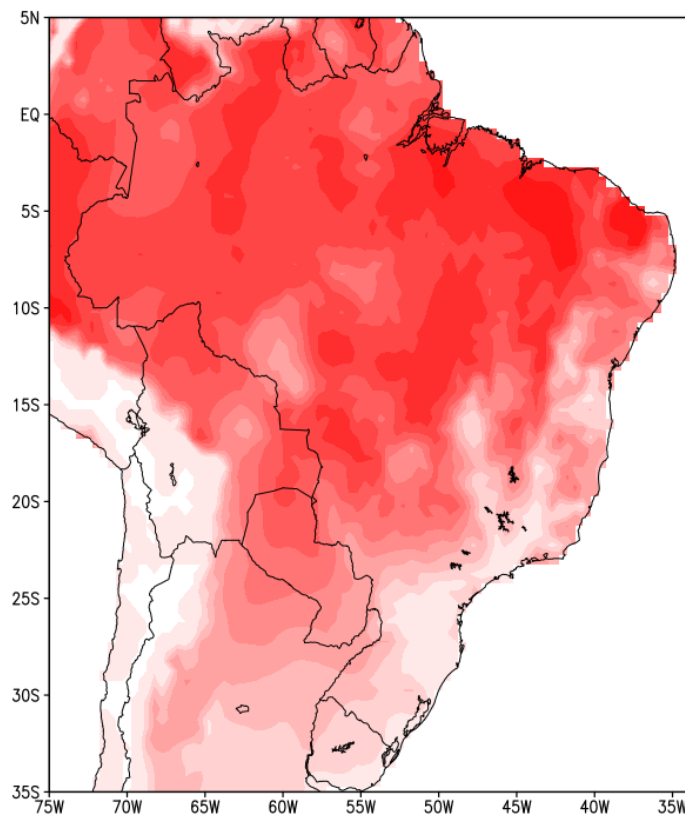
**Figura 5** – Mapas da distribuição atual do índice climático CWD, as potenciais anomalias futuras e a tendência (a área riscada/hachurada significa que a tendência não é estatisticamente significativa). **(continuação)**



**Figura 6** – Mapas da distribuição atual do índice climático Tx30ge, as potenciais anomalias futuras e a tendência (a área riscada/hachurada significa que a tendência não é estatisticamente significativa).

## Atual

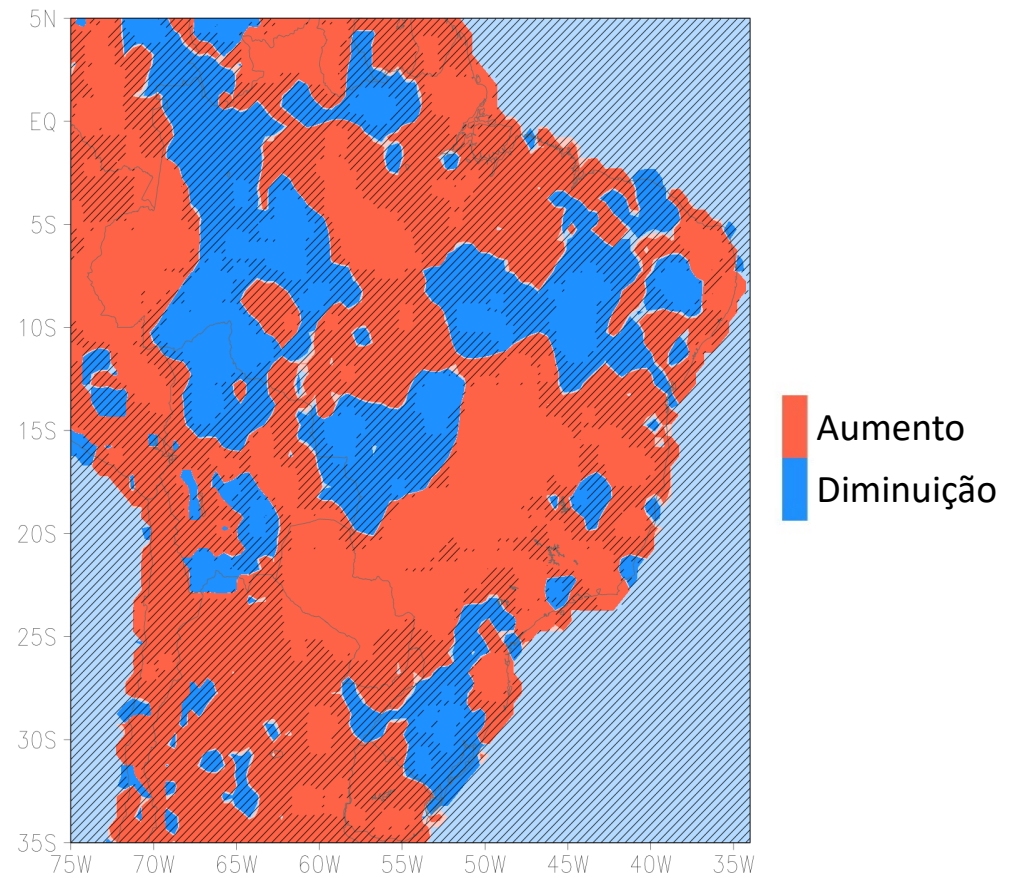
Climatologia (1981-2000)



Número de dias

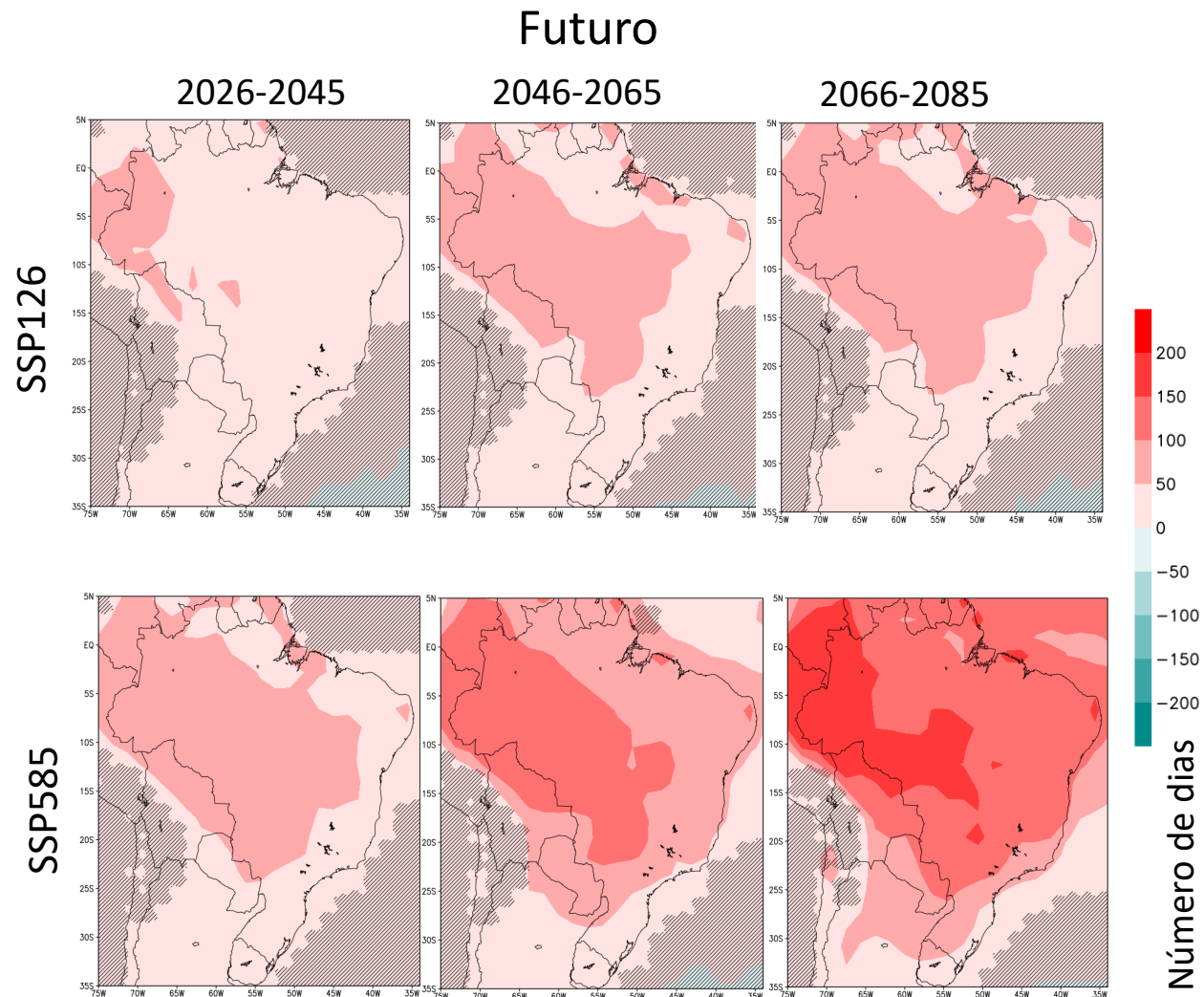


## Tendência



Fonte: elaboração própria (2021).

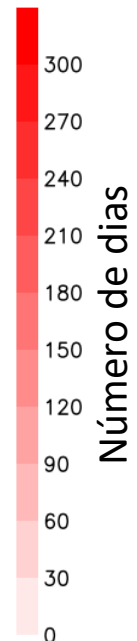
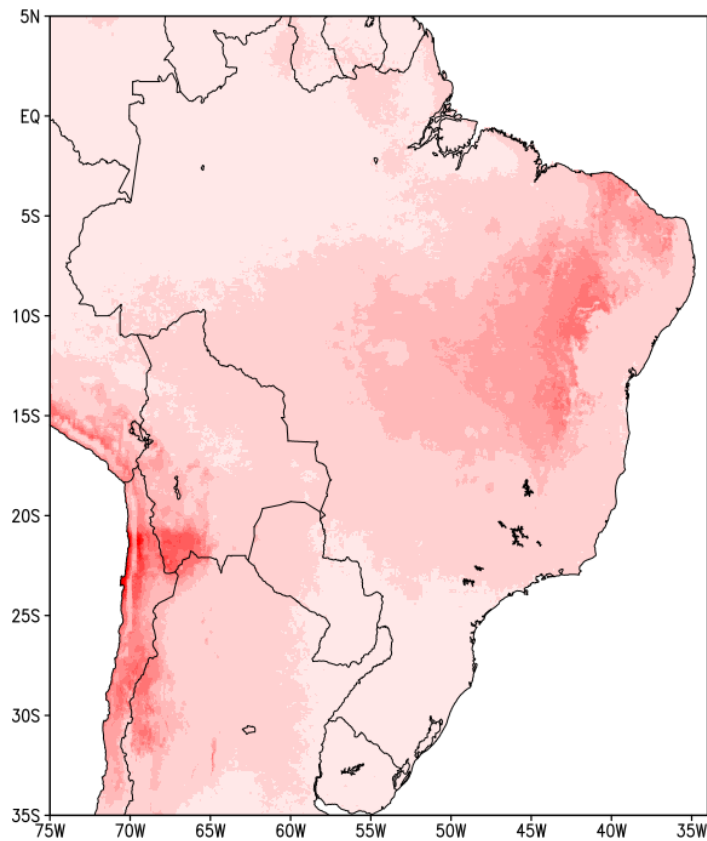
**Figura 6** – Mapas da distribuição atual do índice climático Tx30ge, as potenciais anomalias futuras e a tendência (a área riscada/hachurada significa que a tendência não é estatisticamente significativa). **(continuação)**



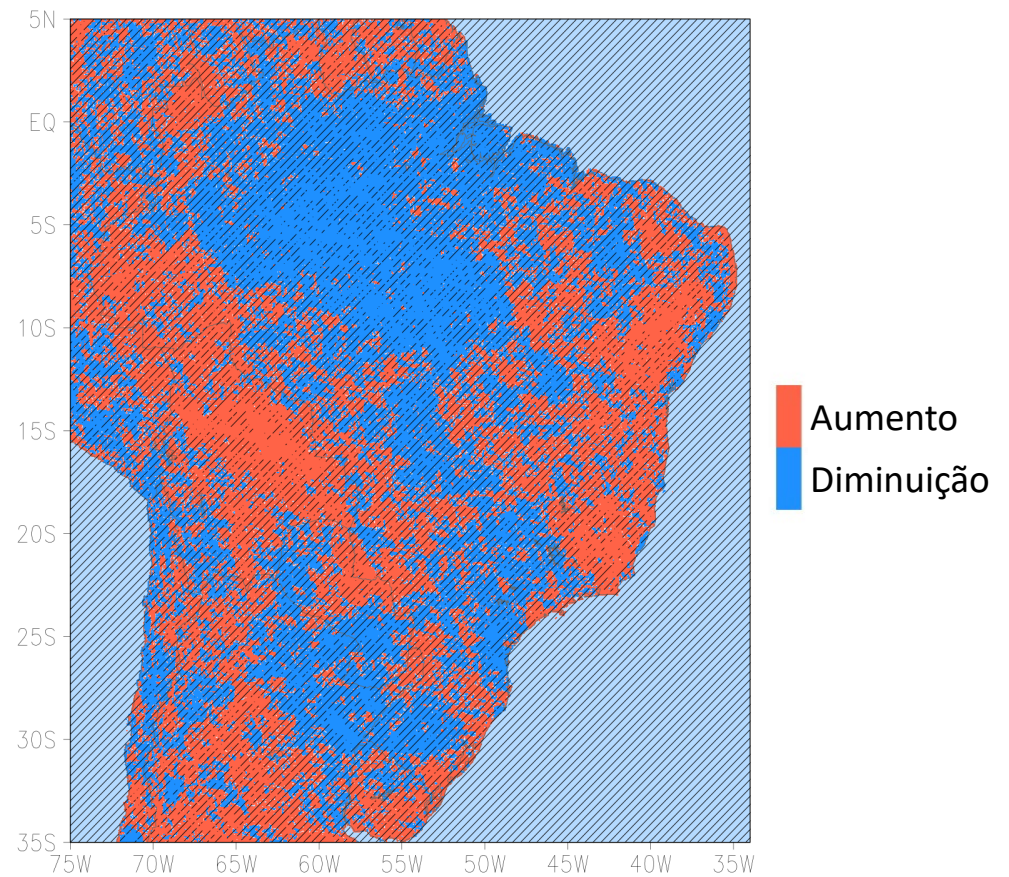
**Figura 7** – Mapas da distribuição atual do índice climático CDD, as potenciais anomalias futuras e a tendência (a área riscada/hachurada significa que a tendência não é estatisticamente significativa).

## Atual

### Climatologia (1981-2000)

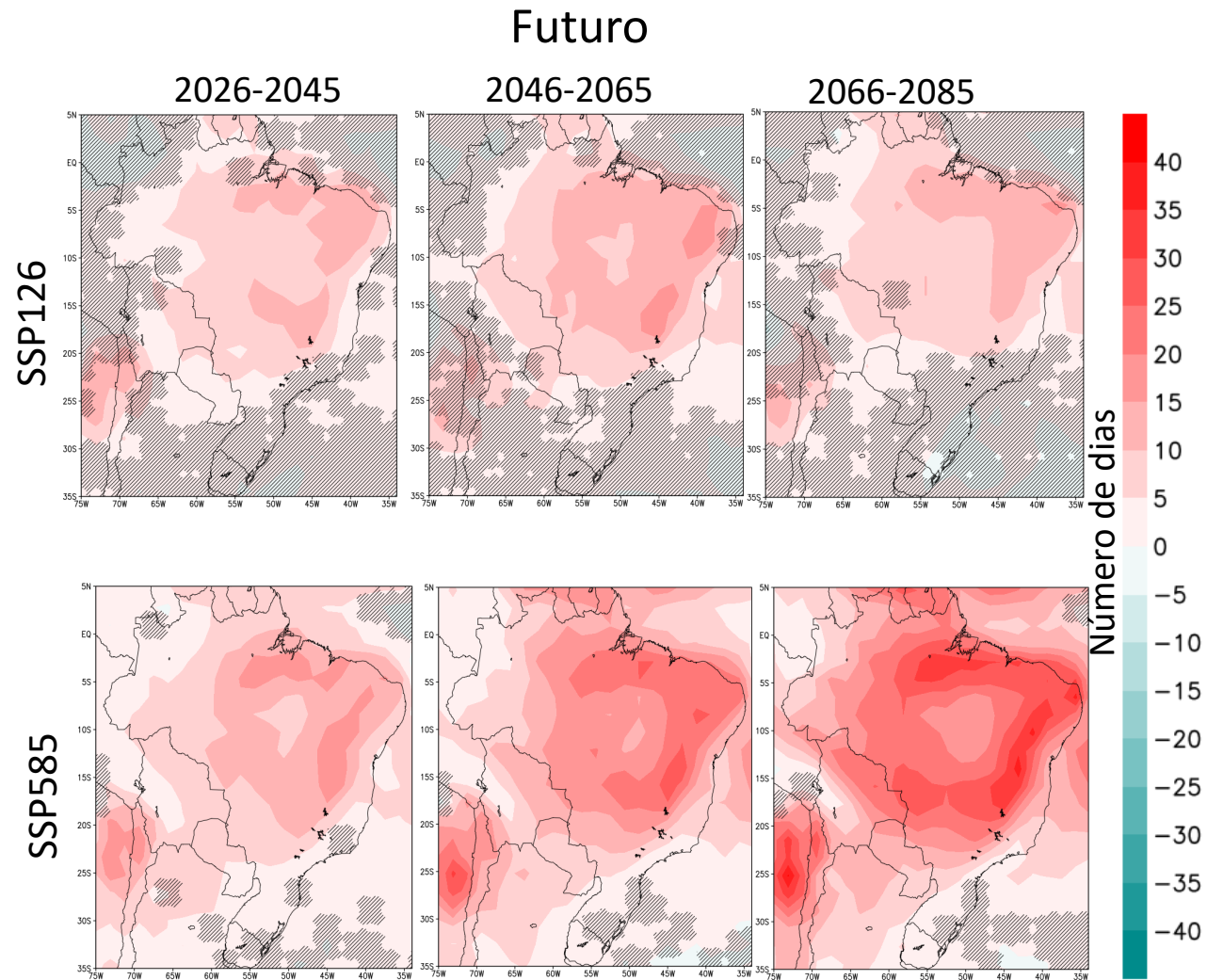


## Tendência



Fonte: elaboração própria (2021).

**Figura 7** – Mapas da distribuição atual do índice climático CDD, as potenciais anomalias futuras e a tendência (a área riscada/hachurada significa que a tendência não é estatisticamente significativa). (**continuação**)

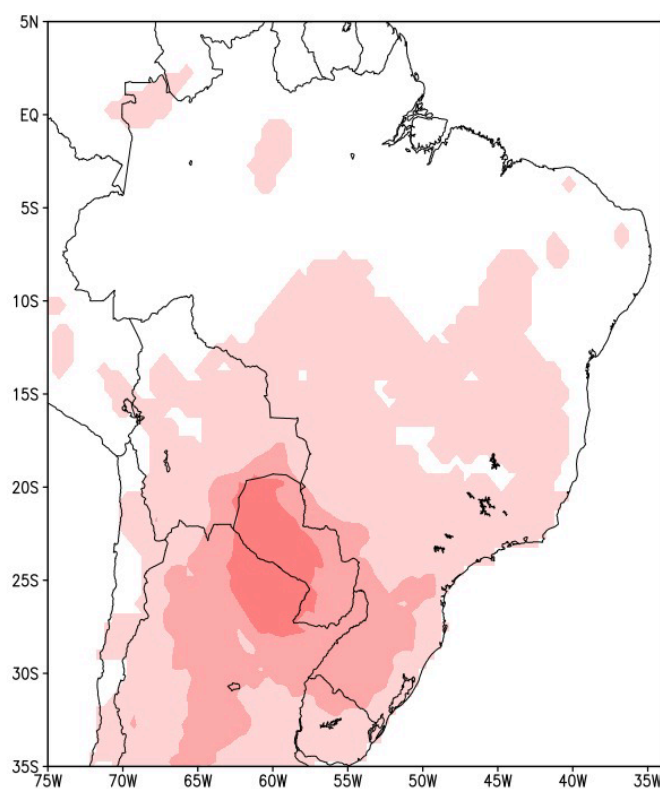


Fonte: elaboração própria (2021).

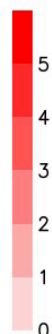
**Figura 8** – Mapas da distribuição atual do índice climático HWDI, as potenciais anomalias futuras e a tendência (a área riscada/hachurada significa que a tendência não é estatisticamente significativa).

## Atual

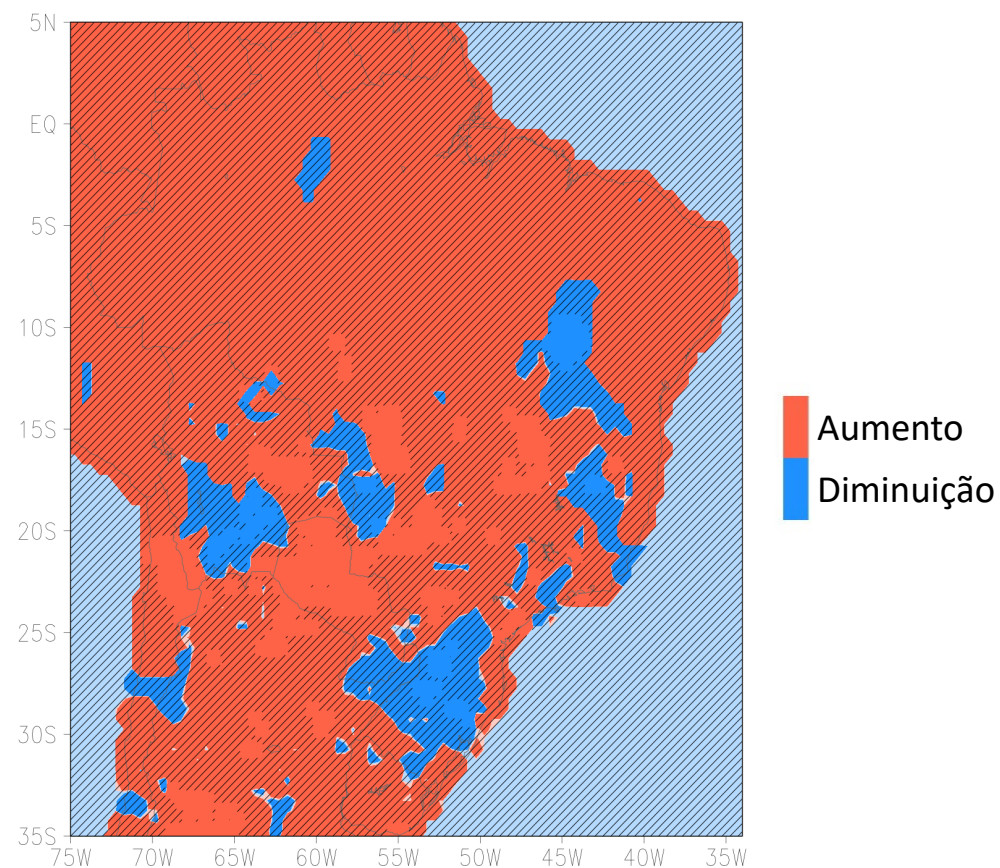
### Climatologia (1981-2000)



Número de ondas de calor por ano



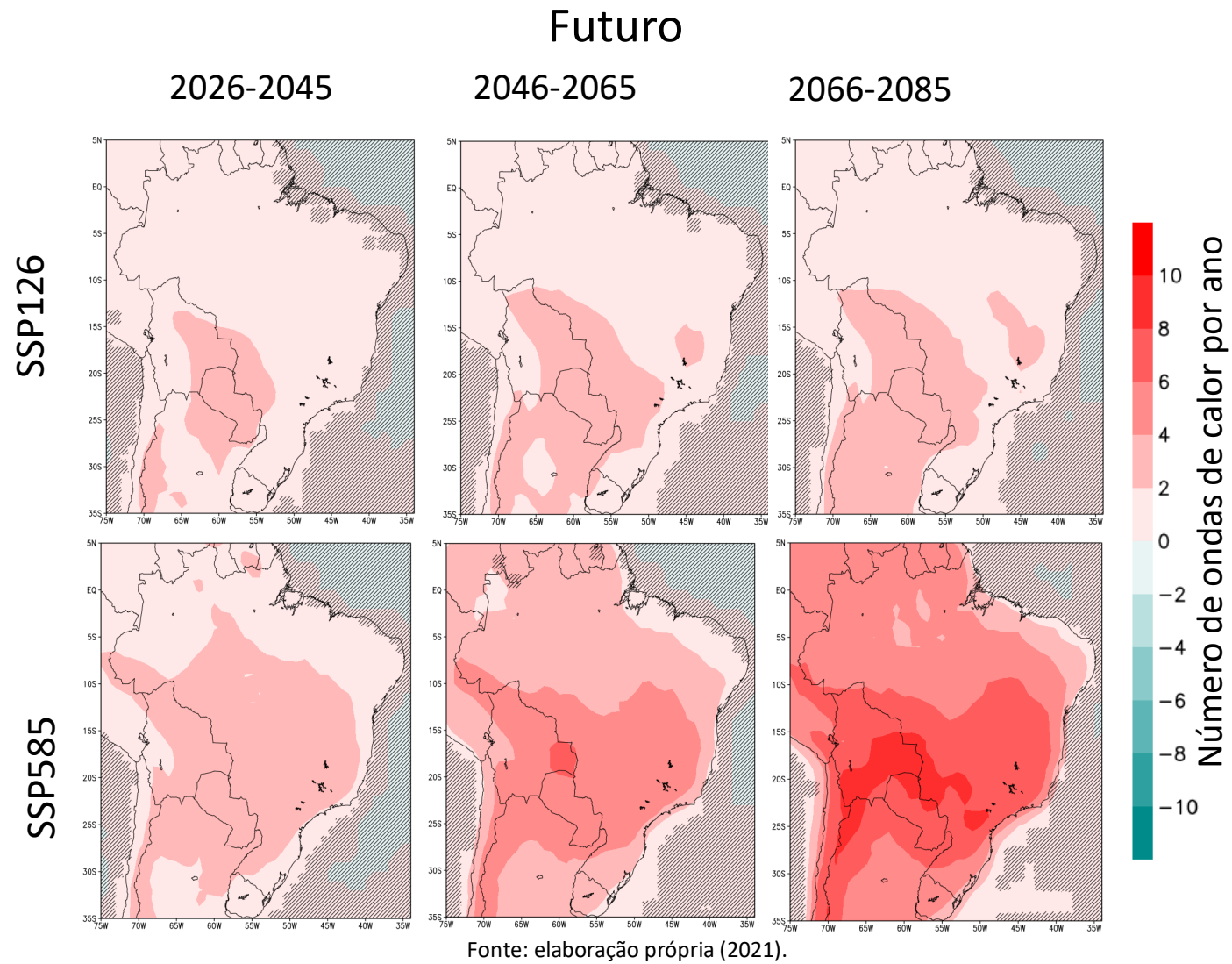
## Tendência



Aumento  
Diminuição

Fonte: elaboração própria (2021).

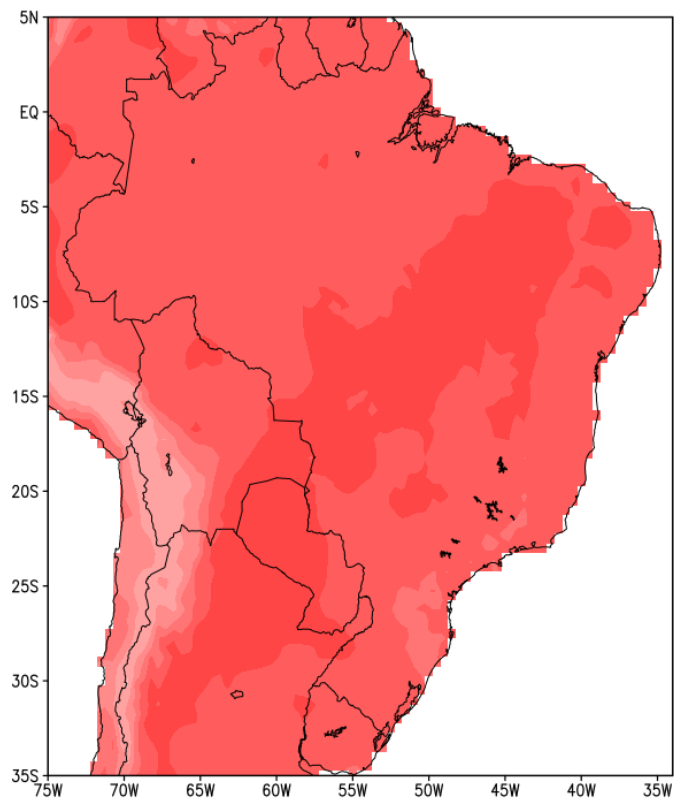
**Figura 8** – Mapas da distribuição atual do índice climático HWDI, as potenciais anomalias futuras e a tendência (a área riscada/hachurada significa que a tendência não é estatisticamente significativa). **(continuação)**



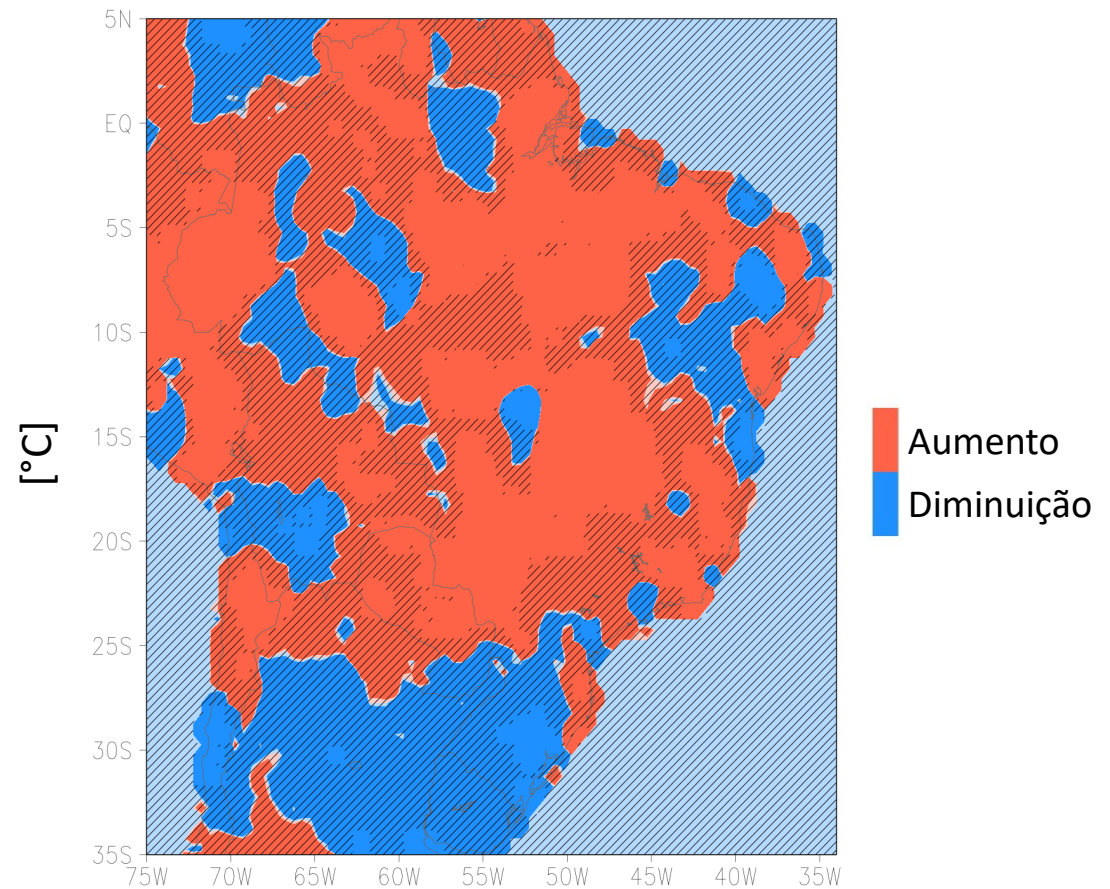
**Figura 9** – Mapas da distribuição atual do índice climático Tx7Day, as potenciais anomalias futuras e a tendência (a área riscada/hachurada significa que a tendência não é estatisticamente significativa).

## Atual

### Climatologia (1981-2000)

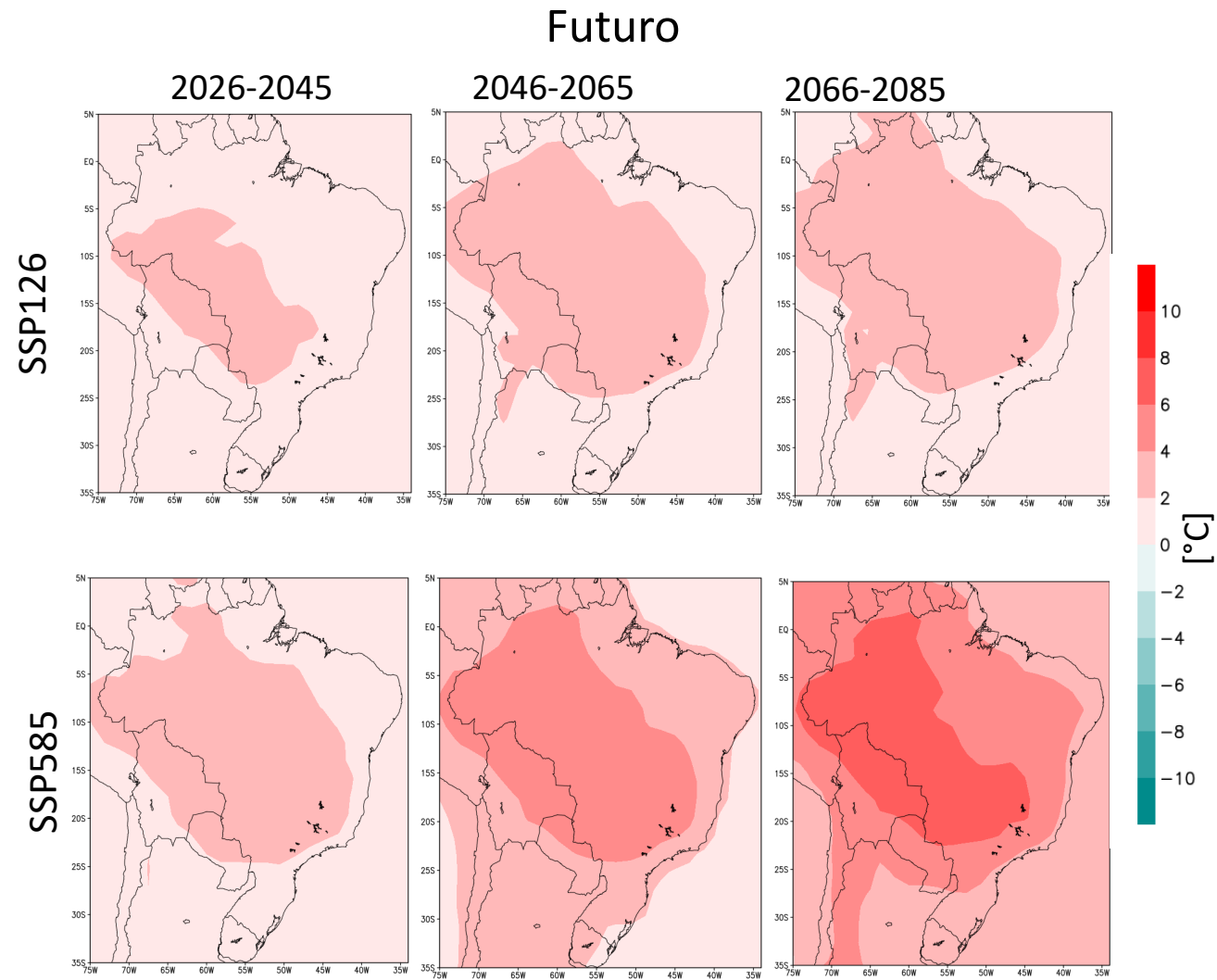


## Tendência



Fonte: elaboração própria (2021).

**Figura 9** – Mapas da distribuição atual do índice climático Tx7Day, as potenciais anomalias futuras e a tendência (a área riscada/hachurada significa que a tendência não é estatisticamente significativa). **(continuação)**



Fonte: elaboração própria (2021).