

ENSAIO SOBRE ÍNDICES DE EXTREMOS CLIMÁTICOS NO LITORAL BRASILEIRO

Eduardo Bulhões

Doutor em Geologia e Geofísica Marinha. Professor Associado do Departamento de Geografia de Campos e do Programa de Pós-graduação em Geografia do Instituto de Ciências da Sociedade e Desenvolvimento Regional, Universidade Federal Fluminense, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil¹
eduardobulhões@id.uff.br

Beatriz Barcellos Zaniboni

Geógrafa pela Universidade Federal Fluminense, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil¹
biabarcellos@gmail.com

RESUMO: No âmbito da Geografia Marinha e com foco na variabilidade e mudanças climáticas, este artigo tem como objetivo apresentar e discutir regionalmente os resultados de índices de extremos climáticos distribuídos por 118 estações ao longo do litoral brasileiro, analisando as tendências no período de 1961 a 2020. Para tanto, foram selecionados 18 índices de extremos climáticos do Projeto Climdex, organizados para possibilitar análises estatísticas das temperaturas máximas, mínimas e da precipitação. Os cálculos e a apresentação dos resultados foram realizados utilizando ferramentas estatísticas em ambiente R. Os resultados evidenciam um aumento nas taxas anuais das temperaturas máximas e mínimas, com incrementos médios de $+0,04^{\circ}\text{C}$ e $+0,03^{\circ}\text{C}$, respectivamente. Verificou-se também uma redução anual no percentual de dias mais frios ($-0,08\%$) e noites mais frias ($-0,07\%$), além de um aumento correspondente nos dias ($+0,12\%$) e noites mais quentes ($+0,10\%$). O índice SU, que mede o número anual de dias com temperaturas máximas superiores a 25°C , apresentou um aumento de 9 dias por década, enquanto o índice TR, que registra o número anual de dias com temperaturas mínimas superiores a 20°C , revelou um incremento de 12 dias por década. Quanto à precipitação, identificou-se uma tendência de redução média anual de $-4,1\text{ mm}$ ao longo do litoral brasileiro. No entanto, essa informação requer contextualização regional, devido às significativas variações locais. Por fim, defende-se que as ferramentas para a análise e interpretação de um grande conjunto de informações e dados climáticos são fundamentais para diagnosticar e prognosticar as tendências de extremos climáticos e, especificamente para o litoral brasileiro, permite uma agenda de pesquisa relevante.

Palavras-chave: Geografia marinha; Projeto Climdex; Mudanças climáticas.

ESSAY ON CLIMATE EXTREMES INDICES ON THE BRAZILIAN COAST

ABSTRACT: This study, situated within Marine Geography and focusing on climate variability and change, examines trends in climate extremes along the Brazilian coastline from 1961 to 2020. Using data from 118 stations, we analyzed 18 climate extremes indices from the Climdex Project to assess variations in maximum and minimum temperatures as well as precipitation. Statistical analyses were conducted in the R environment. The findings reveal an annual increase in maximum and minimum temperature rates, averaging $+0.04^{\circ}\text{C}$ and $+0.03^{\circ}\text{C}$, respectively. Additionally, the frequency of cooler days (-0.08%) and cooler nights (-0.07%) decreased annually, while warmer days ($+0.12\%$) and warmer nights ($+0.10\%$) became more frequent. The SU index (days with maximum temperatures $> 25^{\circ}\text{C}$) increased by 9 days per decade, and the TR index (days with minimum temperatures $> 20^{\circ}\text{C}$) rose by 12 days per decade. Precipitation trends indicate an average annual decline of -4.1 mm , though significant regional variations highlight the need for localized analyses. These results underscore the importance of advanced tools for analyzing and interpreting large climate datasets, offering critical insights for diagnosing and forecasting climate extremes. For the Brazilian coastline, this study provides essential insights that advance the understanding of climate change impacts, contributing to a critical and timely research agenda.

Keywords: Marine geography; Climdex project; Climate change.

¹ Endereço para correspondência: Rua Santiago Carvalhido Filho, 80, Bloco A, 7º Andar, Centro, CEP: 28035-160, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil.

ESSAI SUR LES INDICES D'EXTREMES CLIMATIQUES SUR LA CÔTE BRÉSILIENNE

RÉSUMÉ : Cette étude, inscrite dans le cadre de la Géographie Marine et axée sur la variabilité et les changements climatiques, analyse les tendances des extrêmes climatiques le long du littoral brésilien entre 1961 et 2020. En utilisant les données de 118 stations, 18 indices climatiques du projet Climdex ont été examinés pour évaluer les variations des températures maximales, minimales et des précipitations. Les analyses statistiques, réalisées dans l'environnement R, révèlent une augmentation annuelle des températures maximales (+0,04°C) et minimales (+0,03°C). Parallèlement, la fréquence des journées plus fraîches (-0,08 %) et des nuits plus fraîches (-0,07 %) diminue, tandis que celle des journées (+0,12 %) et des nuits (+0,10 %) plus chaudes augmente. L'indice SU (jours avec des températures maximales > 25°C) a augmenté de 9 jours par décennie, et l'indice TR (jours avec des températures minimales > 20°C) a progressé de 12 jours par décennie. Concernant les précipitations, une diminution annuelle moyenne de -4,1 mm a été observée, bien que des variations régionales significatives nécessitent une contextualisation locale. Ces résultats soulignent l'importance des outils d'analyse des grands ensembles de données climatiques pour diagnostiquer et prévoir les tendances des extrêmes climatiques. Pour le littoral brésilien, cette étude apporte des perspectives cruciales pour mieux comprendre les impacts des changements climatiques et enrichir une recherche essentielle et actuelle.

Mots-clés: Géographie marine; Projet Climdex; Changement climatique.

Introdução

O ambiente costeiro é reconhecido como complexo, sensível e um dos mais dinâmicos da geosfera. Sua complexidade reside na operação incessante de processos naturais (marinhos e continentais) e antrópicos que, atuantes em escalas de tempo distintas, permitem verificar que a paisagem contemporânea é em parte produto de uma herança (Massenlink; Gehrels, 2014).

Neste contexto, com foco na variabilidade e nas mudanças climáticas, este artigo busca ampliar a compreensão das tendências de extremos climáticos ao longo do litoral brasileiro nas últimas seis décadas. Dessa forma, contribui também para o avanço dos estudos que fomentam o desenvolvimento da Geografia Marinha no Brasil, especialmente ao abordar a escala continental do litoral brasileiro.

A variabilidade e as mudanças climáticas são temas amplamente estudados por milhares de cientistas em todo o mundo, e seus extremos podem ser relacionados diretamente à variabilidade natural (Seneviratne et al, 2012) mas as mudanças induzidas pela ação humana podem também modificar a frequência, a intensidade, a dispersão espacial e a duração dos episódios extremos (Lorenz et al, 2014).

Essas mudanças geram impactos diretos e indiretos nos geossistemas terrestres e oceânicos, influenciando como os seres humanos e outras espécies precisam se adaptar às novas condições climáticas (Tebaldi et al, 2006, IPCC, 2012). O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), em seu sexto relatório de síntese (AR6) publicado em IPCC (2023), reafirma categoricamente que as atividades humanas associadas às emissões de gases de efeito estufa (GEE) provocaram um aquecimento global de 1,1°C entre 2011 e 2020, em comparação ao período de 1850-1900.

Tal relatório ainda pontua que as mudanças rápidas e generalizadas na atmosfera, oceano, criosfera e biosfera ocorreram e que tais mudanças já estão afetando os extremos do tempo e do clima em todas as regiões do planeta. Com isso, impactos negativos com perdas e danos generalizados vem afetando os ecossistemas e as comunidades.

Especificamente, e com elevado grau de confiança, projeta-se que os ecossistemas costeiros e as áreas baixas do litoral mundial continuarão a experimentar eventos de submersão, inundação e erosão uma vez que as evidências e cenários projetados são para temperaturas crescentes, o mesmo acontecendo com nível médio do mar (IPCC, 2023). Soma-se a isso a ocorrência de secas mais prolongadas e eventos pluviométricos mais intensos e frequentes.

Neste contexto, a climatologia de extremos climáticos é uma ferramenta relevante e vem sendo usada global e regionalmente para apontar tendências das alterações climáticas e da variabilidade regional (Chang et al., 2014; Cordeiro et al., 2021). Existem dezenas de índices para extremos climáticos, alguns mais usados do que outros, e neste cenário destaca-se o Projeto Climdex², desenvolvido pelo grupo de especialistas³ em detecção de mudanças climáticas e índices do programa de pesquisa climática global e da comissão de climatologia da Organização Meteorológica Mundial (OMM).

O objetivo geral deste artigo é apresentar e discutir os resultados de índices de extremos climáticos distribuídos ao longo do litoral brasileiro e apontar as tendências históricas no recorte temporal 1961-2020. Especificamente objetiva-se reunir um conjunto de índices que permitam, de forma regionalizada, produzir uma leitura mais ampla sobre as variáveis temperatura e precipitação ao longo do litoral brasileiro.

Materiais e métodos

Área de estudo

A área de estudo (Figura 1) comprehende toda a faixa terrestre do litoral brasileiro subdividido administrativamente, do norte ao sul, desde o município de Macapá (AP) até o município de Santa Vitória do Palmar (RS). Neste recorte incluem-se 442 municípios que compõem a faixa terrestre da zona costeira brasileira⁴, distribuídos pelo território de 17 unidades da federação, agrupadas em quatro regiões administrativas, a saber: Norte, Nordeste, Sudeste e Sul. Essa última divisão foi a regionalização escolhida para a espacialização e categorização dos resultados.

A extensão da linha de costa brasileira tem a maior parte das estimativas apontando algo entre 6 e 10 mil quilômetros de extensão (Muehe, 2003), quando considerados os detalhes de ilhas, baías e demais reentrâncias tal estimativa chega a quase 20 mil quilômetros (BRASIL, 2022) e é maioritariamente inserida na faixa climática intertropical. A faixa terrestre, de largura variável, soma cerca de 425 mil quilômetros quadrados, onde habitam hoje aproximadamente 1/4 da população do país.

Como afirma Souza et al. (2005), diferentes condicionamentos geológicos e climáticos ao longo do litoral brasileiro são responsáveis por uma grande diversidade de aspectos geomorfológicos e paisagens. A circulação atmosférica dominante e influente sobre o litoral está associada, dentre outros, ao Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), que é o principal sistema atmosférico de alta pressão sobre o oceano Atlântico Sul. Tal sistema é mais abrangente no inverno, o que o aproxima mais do litoral brasileiro, e mais restrito no verão quando sua posição se torna mais afastada (Reboita et al., 2020). Tais posicionamentos e movimentações justificam variações significativas nas temperaturas, na umidade, e nas taxas de evaporação/precipitação sobre o litoral.

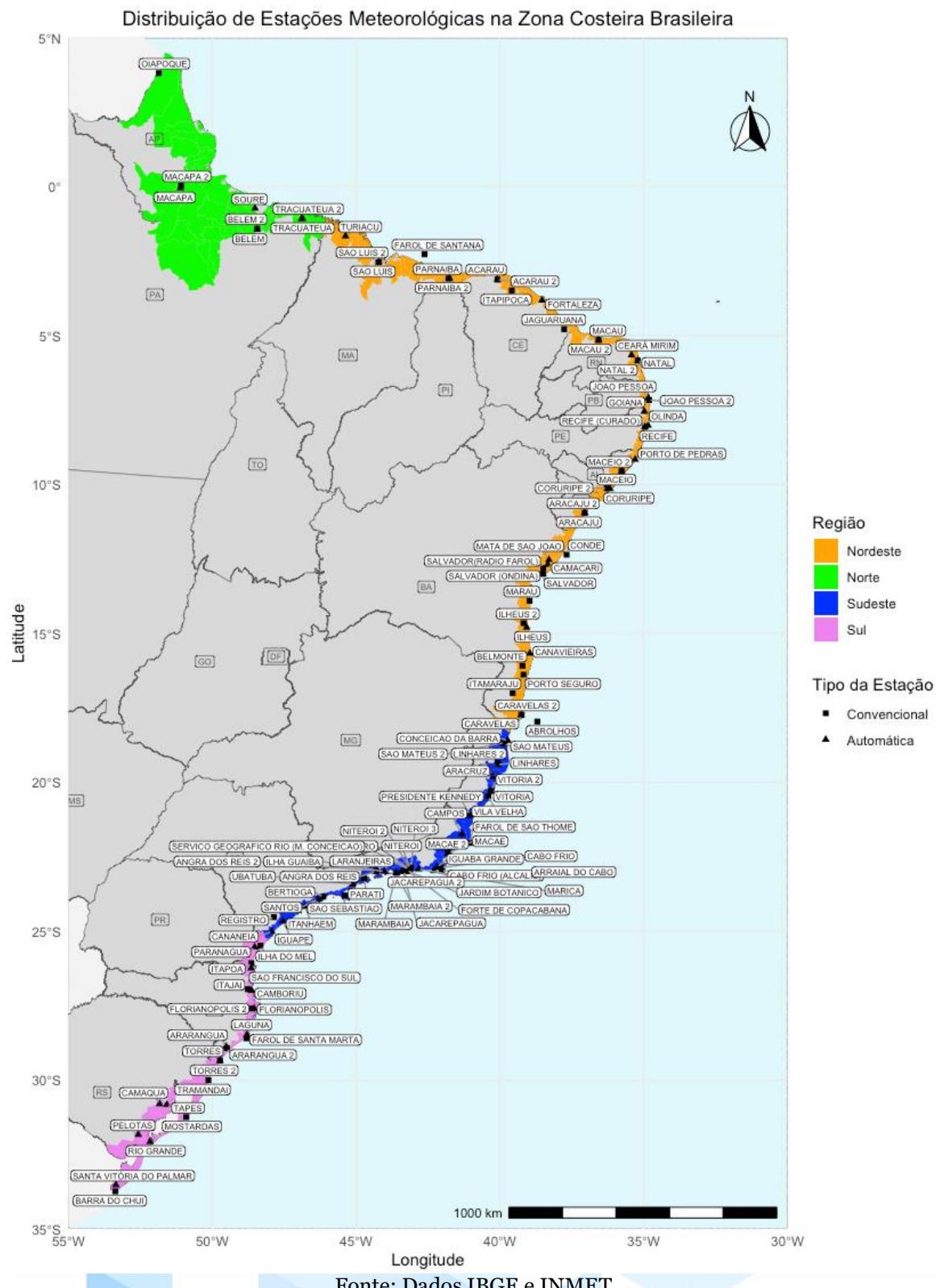
Os sistemas frontais são também bastante influentes e suas penetrações sobre o país são responsáveis pela queda das temperaturas e pela maior parte da precipitação ao longo da costa Sul e Sudeste do país (Justi da Silva; Dias, 2002) sobretudo no inverno (Monteiro, 1969).

² <http://climdex.org>.

³ CCl/WCRP/JCOMM Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI).

⁴ Ministério do Meio Ambiente. Portaria nº 34 de 02/02/2021.

Figura 1: Recorte dos municípios litorâneos brasileiros incluindo a posição, tipo e nome das estações meteorológicas utilizadas como fonte de dados



Série histórica de dados atmosféricos

A série histórica analisada foi obtida junto à base de dados diários do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), cobrindo o período 1961-2020 para 64 estações convencionais e 54 estações automáticas posicionadas em municípios litorâneos brasileiros (Figura 1). Estações convencionais retornam dados mais antigos e estações automáticas dados mais recentes. Tal sobreposição permite boa caracterização do início e do final da série uma vez que 39% das estações tem registros iniciando em 1961 e 62% tem registros finalizando em 2020.

Destaca-se que há dificuldade em obter registros contínuos de dados observacionais, no entanto, a seleção de índices neste trabalho não pressupõe a necessidade restrita de registros diários contínuos. Optou-se ainda pelo agrupamento regional de tais resultados e, com isso, permitiu-se utilizar todo o conjunto de informações disponíveis na base de dados do INMET para a observação macro do litoral brasileiro. Dentre as variáveis disponíveis para cada estação foram selecionadas as três que diretamente atendem o objetivo da pesquisa: Temperatura máxima diária (*TX*), Temperatura mínima diária (*TN*) e Precipitação total diária (*PRCP*).

Índices de extremos climáticos

O Projeto Climdex trata de um conjunto de índices organizados para possibilitar a análise e respostas estatísticas sobre extremos climáticos de temperatura e precipitação. Do total de índices, foram selecionados 18 para este trabalho, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Índices de Extremos Climáticos selecionados para a análise

Índice	Definição	Unidade
TXm	Temperatura Máxima Anual Média	°C
TNm	Temperatura Mínima Anual Média	°C
DTR	Amplitude Térmica Diária	°C
TXx	Dia Mais Quente. Máximo mensal de temperatura máxima.	°C
TXn	Dia Mais Frio. Mínimo mensal de temperatura máxima.	°C
TX1op	Fração de Dias Frios. Percentual de dias do ano em que a temperatura máxima foi menor que o 10º percentil.	%
TX9op	Fração de Dias Quentes. Percentual de dias do ano em que a temperatura máxima foi maior que o 90º percentil.	%
TNn	Noite Mais Fria. Mínimo mensal de temperatura mínima.	°C
TNx	Noite Mais Quente. Máximo mensal de temperatura mínima.	°C
TN1op	Fração de Noites Frias. Percentual de dias do ano em que a temperatura mínima foi menor que o 10º percentil.	%
TN9op	Fração de Noites Quentes. Percentual de dias do ano em que a temperatura mínima foi maior que o 90º percentil.	%

SU	Dias de Verão. Quantidade anual de dias onde a temperatura máxima diária é superior a 25°C	número de dias
TR	Noites Tropicais. Quantidade anual de noites onde a temperatura mínima diária é superior a 20°C	número de dias
PRCPTOT	Precipitação Total Anual	mm
R10mm	Número de dias com chuvas fortes. Quantidade de dias por ano em que a precipitação foi maior que 10mm.	número de dias
R20mm	Número de dias com chuvas muito fortes. Quantidade de dias por ano em que a precipitação foi maior que 20mm.	número de dias
R95p	Dias muito molhados. Precipitação anual total dos dias em que a precipitação foi maior que o 95º percentil.	mm
R99p	Dias extremamente molhados. Precipitação anual total dos dias em que a precipitação foi maior que o 99º percentil.	mm

Fonte: *Climdex Project*.

Quanto aos seus significados, o índice *TXm* retorna um valor médio anual a partir das médias diárias de temperaturas máximas. O índice *TNm* faz o mesmo para as temperaturas mínimas diárias. O índice *DTR* utiliza dados das temperaturas máximas e mínimas para retornar um valor diário de amplitude térmica.

O índice *TXx* extraí para cada mês de cada ano o valor máximo da temperatura máxima, enquanto o índice *TXn* extraí o valor mínimo da temperatura máxima para cada mês de cada ano. Em valores percentuais tem-se o índice *TX10p* que retorna o percentual anual de dias em que a temperatura máxima foi inferior ao décimo percentil e o índice *TX90p* retorna o percentual anual de dias em que a temperatura máxima foi superior ao nonagésimo percentil.

Os índices *TNn* e *TNx* extraem, respectivamente, o valor mínimo e o valor máximo da temperatura mínima de cada mês em cada ano. Os índices *TN10p* e *TX90p* retornam, respectivamente, as percentagens anuais de dias em que a temperatura mínima foi inferior ao décimo e superior ao nonagésimo percentil.

Os índices *SU* e *TR* totalizam, respectivamente, o número anual de dias em que a temperatura máxima diária foi superior a 25°C e o número anual de noites em que a temperatura mínima diária foi inferior a 20°C.

Os índices que utilizam os dados diários de precipitação são cinco. O *PRCPTOT* totaliza anualmente em milímetros a soma nos dias em que houve precipitação. Os índices *R10mm* e *R20mm* totalizam respectivamente o número de dias por ano em que a precipitação diária foi superior a 10mm e a 20 mm. Os índices *R95p* e *R99p* respectivamente totalizam em milímetros por ano, a quantidade de precipitação acumulada nos dias em que a mesma foi maior que o nonagésimo quinto e nonagésimo nono percentis.

Análise dos dados

A organização, manipulação, análise estatística e visualização dos dados climáticos para este estudo foram realizadas inteiramente no ambiente de programação estatística R, que é conhecido por sua capacidade de manipular grandes conjuntos de dados e realizar análises estatísticas complexas. Para este propósito, foram utilizados vinte e cinco pacotes diferentes, que são parte do ecossistema de software livre do R, proporcionando uma plataforma robusta e integrada para processamento e análise dos resultados.

Dentre tais ferramentas destaca-se o pacote Climpact⁵ desenvolvido como um melhoramento do RClimDex para o cálculo dos índices de extremos climáticos, o que permite a automação da análise de tendências em fenômenos climáticos extremos, oferecendo métodos para a deteção e atribuição de mudanças climáticas.

O pacote Kendall⁶ utilizado para realizar testes de significância estatística, foi útil para a análise de tendências temporais nos dados. Este pacote implementa o teste de Mann-Kendall, uma abordagem não-paramétrica para identificar tendências monótonas em séries temporais.

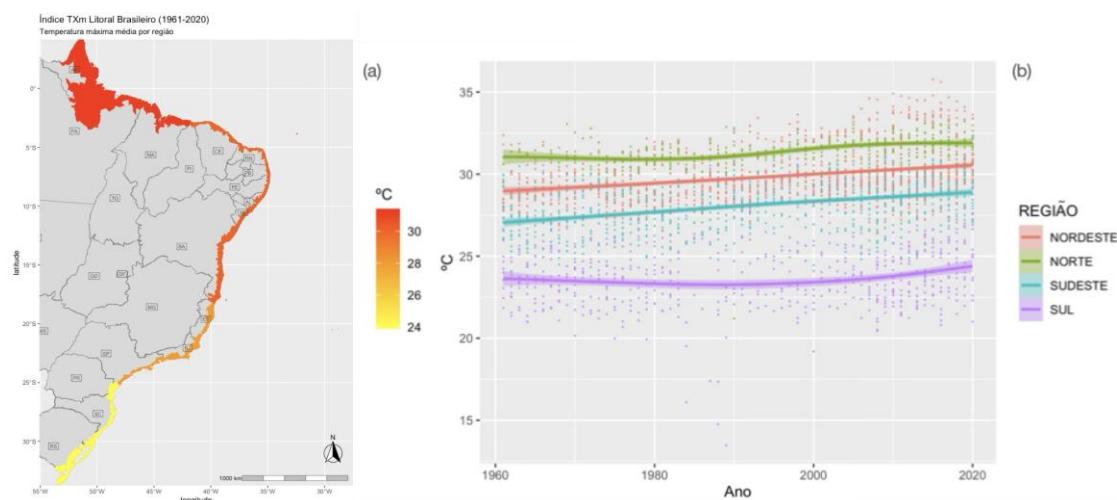
Para a apresentação visual dos dados, o ggplot2⁷ foi utilizado extensivamente. Este pacote é uma das ferramentas mais úteis e flexíveis dentro do R para criação de gráficos e mapas. Com ele, foi possível construir uma variedade de visualizações claras e informativas, como todos os mapas e gráficos apresentados neste trabalho, facilitando a interpretação e a comunicação dos resultados encontrados.

Resultados

Índices de temperaturas médias para o litoral brasileiro

A série histórica da *TXm* (temperatura máxima média) no litoral brasileiro retornou o valor de 28,3°C ($\pm 3,0$) sendo o maior registro 35,8°C extraído da estação Coruripe (Nordeste) em 2015 e o menor registro 13,5°C na estação Laguna (Sul) em 1989. As médias do *TXm* por região são 31,4°C ($\pm 0,9$) no litoral da região Norte; 29,9°C ($\pm 1,6$) no litoral da região Nordeste; 28,1°C ($\pm 1,5$) no litoral da região Sudeste; e 23,6°C ($\pm 1,9$) no litoral da região Sul. Esses dados e o mapa da Figura 2 (a) permitem observar a característica zonal do *TXm* aumentando do sul em direção ao norte.

Figura 2: Composição entre Mapa (a) e Gráfico (b) representando a série histórica do índice *TXm* - Temperatura Máxima Média



Fonte: Dados IBGE e INMET.

Já o gráfico da Figura 2 (b) mostra uma tendência de aumento (\uparrow) no *TXm* em todas as regiões. Ao agrupar a série histórica para o intervalo de 60 anos têm-se resultados quanto às taxas de variação do índice e registra-se o aumento de 2,2°C no período, o que equivale a

⁵ <https://github.com/ARCCSS-extremes/climpact2>

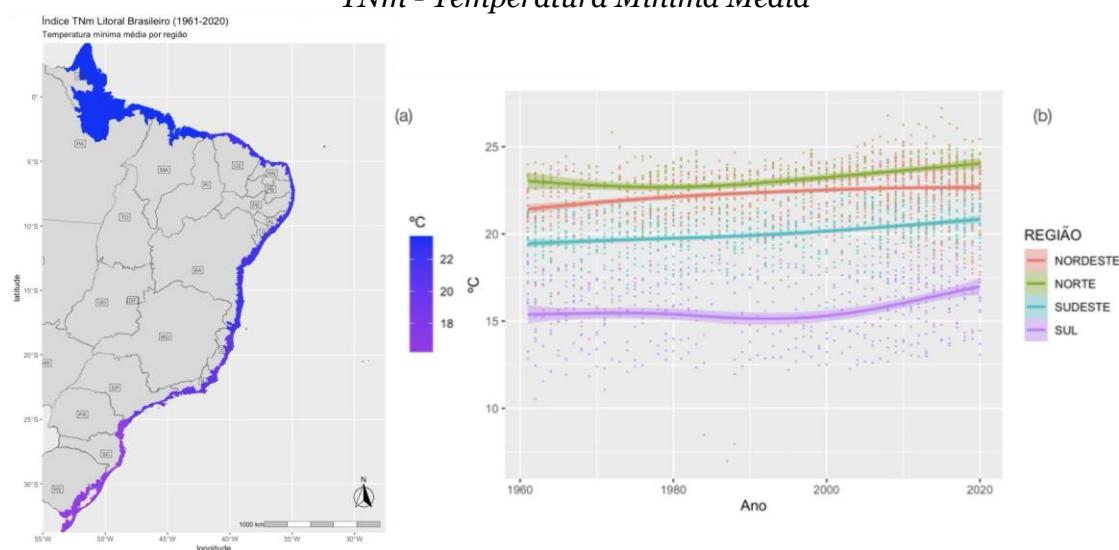
⁶ <https://github.com/cran/Kendall>

⁷ <https://cran.r-project.org/web/packages/ggplot2/index.html>

+0,04°C/ano para o litoral brasileiro sendo este mais pronunciado a partir da década de 1990 sobretudo para o litoral das regiões Sudeste e Nordeste.

A série histórica da *TNm* (temperatura mínima média mensal) mostra o resultado de 20,4°C ($\pm 3,1$) para o litoral brasileiro, sendo o menor registro 7°C extraído da estação Santa Vitória do Palmar (Sul) em 1987 e o maior registro 27,2°C na estação Coruripe 2 (Nordeste) em 2015. As médias do *TNm* foram de 23,2°C ($\pm 1,3$) no litoral da região Norte; 22,4°C ($\pm 1,4$) no litoral da região Nordeste; 20,1°C ($\pm 1,3$) no litoral da região Sudeste; e 15,7°C ($\pm 2,1$) no litoral da região Sul. Esses dados e o mapa da Figura 3 (a) também permitem a observação da característica zonal do *TNm* variando positivamente do sul em direção ao norte.

Figura 3: Composição entre Mapa (a) e Gráfico (b) representando a série histórica do índice *TNm* - Temperatura Mínima Média

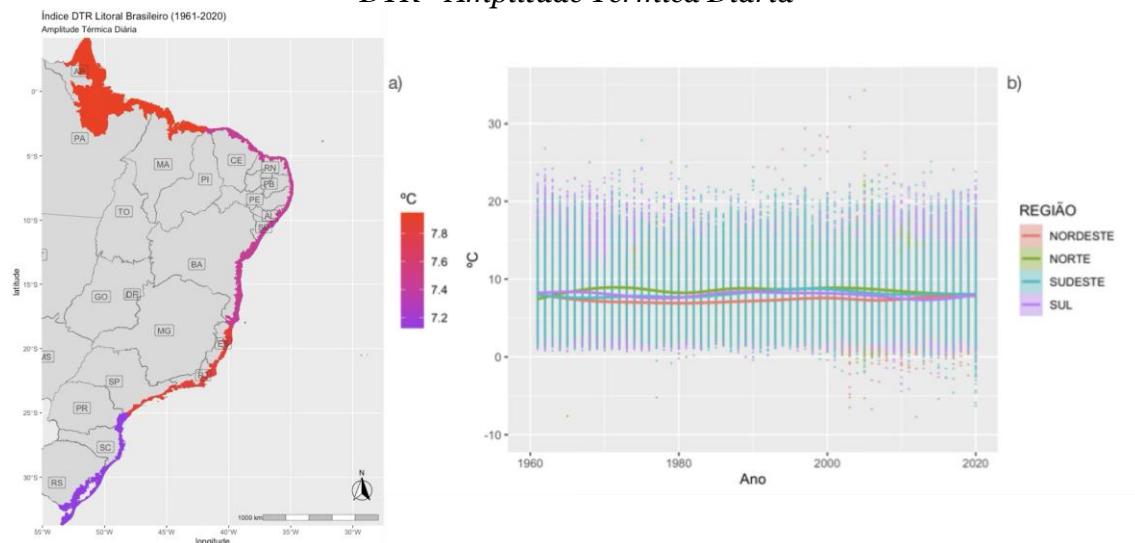


Fonte: Dados IBGE e INMET.

Já o gráfico da Figura 3 (b) mostra uma tendência de aumento de *TNm* em todas as regiões. Ao agrupar a série histórica para o intervalo de 60 anos registra-se o aumento global de 2°C (+0,03°C/ano) para o litoral brasileiro com destaque para os incrementos ligeiramente superiores no litoral das regiões Sudeste e Nordeste.

Já a Figura 4 apresenta o panorama do índice *DTR* (amplitude térmica diária) compilado no período. A média do *DTR* para o litoral brasileiro é de 7,8°C ($\pm 2,8$). Por região, os resultados variam pouco e tais valores são superiores a 8°C ao longo do litoral da região Norte e Sudeste e inferiores a 8°C no litoral das regiões Nordeste e Sul. O gráfico na Figura 4 (b) mostra que ao longo do tempo as variações do *DTR* foram pouco expressivas. Na perspectiva do litoral brasileiro, nos últimos sessenta anos, o índice aumentou em 0,16°C ou +0,002°C por ano. Utilizando o teste estatístico *Mann-Kendall* verificou-se que 75% das estações retornaram resultados com confiança acima de 95%.

Figura 4: Composição entre Mapa (a) e Gráfico (b) representando a série histórica do índice *DTR - Amplitude Térmica Diária*

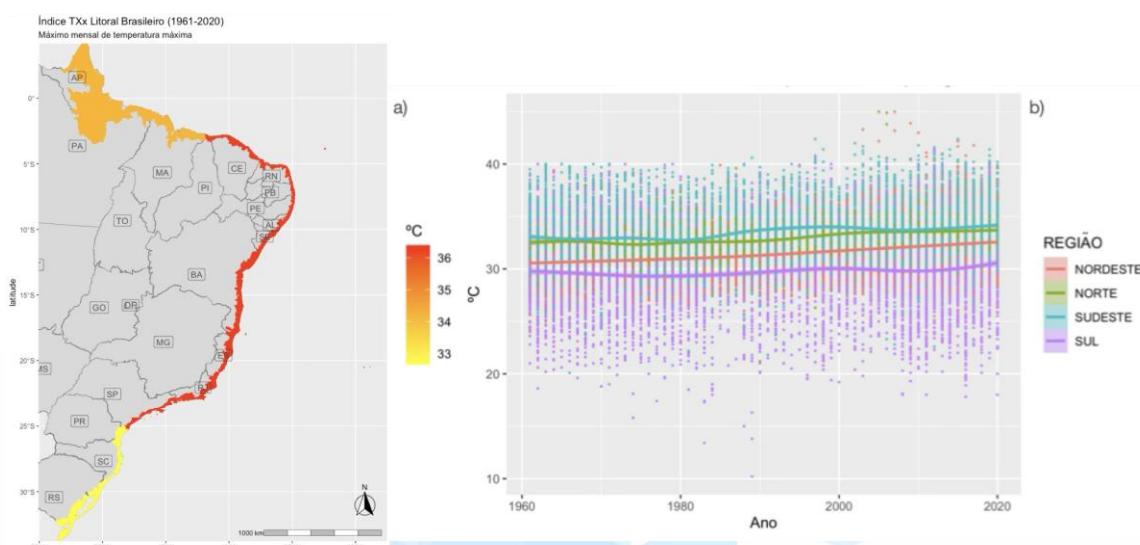


Fonte: Dados IBGE e BDMEP INMET, processados em R.

Índices de temperaturas máximas (TX) para o litoral brasileiro

A Figura 5 apresenta os resultados para o índice *TXx* (máximo mensal de temperatura máxima) ou “dia mais quente”, e destaca-se o maior registro de 45°C extraído na estação Belém 2 em dezembro de 2005. Para o litoral brasileiro o *TXx* registrado foi de 31,9°C ($\pm 3,1$) sendo os maiores valores registrados nas estações litorâneas da região Sudeste com 33,5°C ($\pm 2,8$) e menores no litoral da região Sul com 29,8°C ($\pm 4,1$). No litoral das regiões Norte e Nordeste o valor de *TXx* foi, respectivamente, 33,1°C ($\pm 1,3$) e 31,6°C ($\pm 3,1$). O mapa da Figura 5 (a) aponta que no litoral brasileiro os maiores valores de *TXx* ocorrem nos litorais das regiões Sudeste e Nordeste.

Figura 5: Composição entre Mapa (a) e Gráfico (b) representando a série histórica do índice *TXx - Máxima Mensal de Temperatura Máxima*

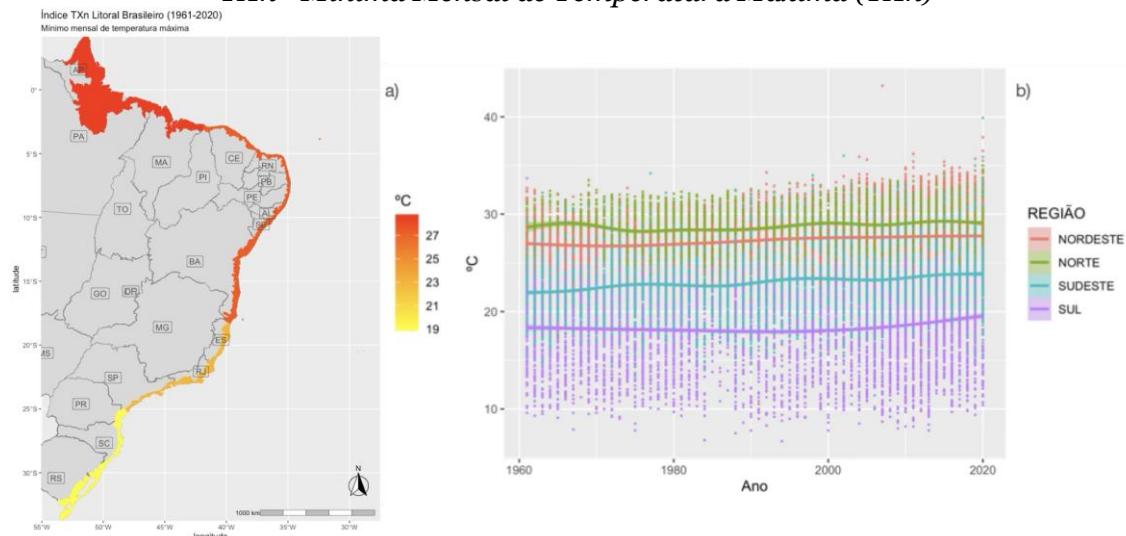


Fonte: Dados IBGE e INMET.

Considerando a série histórica para TX_x , entre 1961 e 2020, apresentado no gráfico da Figura 5 (b) há o evidente crescimento das temperaturas. A taxa encontrada para o litoral brasileiro foi de $+0,03^{\circ}\text{C}$ por ano, o que indica incremento de 2°C no período. Tais taxas por região não são discrepantes mas destaca-se o crescimento mais acelerado no intervalo entre 1991-2020 sobretudo no litoral da região Sul e o menor incremento de TX_x no litoral da região Norte.

A Figura 6 ilustra resultados para o índice TX_n (mínimo mensal de temperatura máxima) ou “dia mais frio”. Destaca-se que o menor registro para o índice foi de $6,7^{\circ}\text{C}$ na estação Santa Vitória do Palmar (RS), estação mais ao sul da área de estudo, em julho de 1994. Para o litoral brasileiro o valor global de TX_n é de $24,5^{\circ}\text{C}$ ($\pm 4,8$) com variações regionais que apontam um padrão zonal, crescente do sul para o norte, no qual os resultados para o litoral da região Sul foram de $18,4^{\circ}\text{C}$ ($\pm 4,3$), aumentando para 23°C (± 3) no litoral da região Sudeste, depois para $27,4^{\circ}\text{C}$ ($\pm 2,4$) no litoral da região Nordeste e, por fim, para $28,8^{\circ}\text{C}$ ($\pm 2,2$) no litoral da região Norte.

Figura 6: Composição entre Mapa (a) e Gráfico (b) representando a série histórica do índice TX_n - Mínima Mensal de Temperatura Máxima (TX_n)

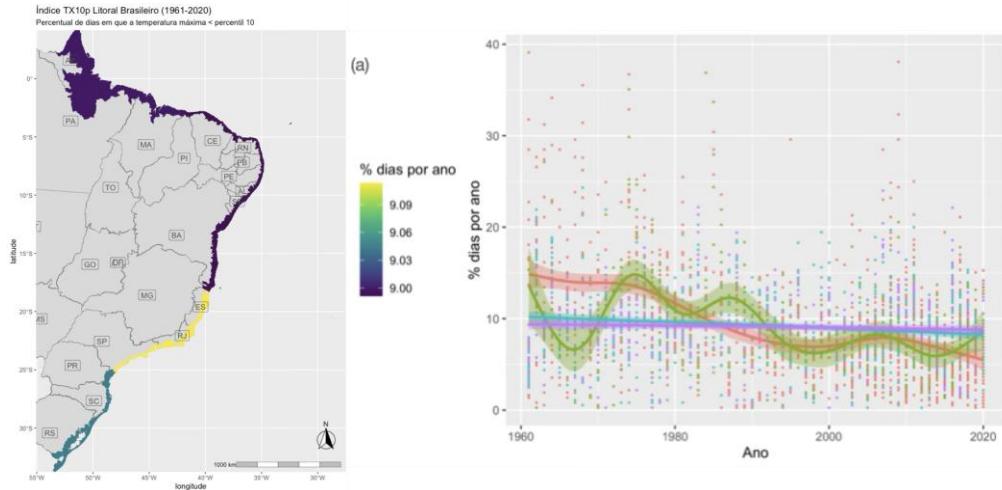


Fonte: Dados IBGE e INMET.

Considerando a série histórica conforme ilustra o gráfico da Figura 6 (b) as linhas de tendência por região indicam crescimento no TX_n ao longo dos anos e tal crescimento apresenta-se mais evidente nos registros do litoral da região Sul, sobretudo a partir dos anos 2000. Registra-se que o aumento no índice TX_n durante todo o intervalo agregando os dados para o litoral brasileiro foi de $2,5^{\circ}\text{C}$, ou $+0,04^{\circ}\text{C}/\text{ano}$, com destaque para o aumento de $1,8^{\circ}\text{C}$ no litoral da região Sudeste. Destaca-se ainda a tendência zonal de aumento do TX_n do sul para o norte ao passo que há neste sentido uma diminuição no desvio padrão, o que sugere menores variações sazonais no índice.

A Figura 7 apresenta os resultados para TX_{10p} (percentual de dias por ano em que a temperatura máxima foi menor que o décimo percentil). Esse índice permitiu calcular a fração anual de dias frios e suas variações ao longo dos anos e ao longo das regiões litorâneas do país. Para o litoral brasileiro o resultado do TX_{10p} foi $9\% (\pm 5,2)$ com variações regionais pouco expressivas, a saber: no litoral região Norte foi de $9,1\% (\pm 5,7)$, no litoral da região Nordeste $8,9\% (\pm 6,3)$, no litoral Sudeste $9,2\% (\pm 4,1)$ e no litoral Sul $9,1\% (\pm 3,9)$ este último com o menor desvio padrão entre as regiões.

Figura 7: Composição entre Mapa (a) e Gráfico (b) representando a série histórica do índice *TX10p* - *Percentual de Dias do Ano em que a Temperatura Máxima foi Menor que o Percentil 10*

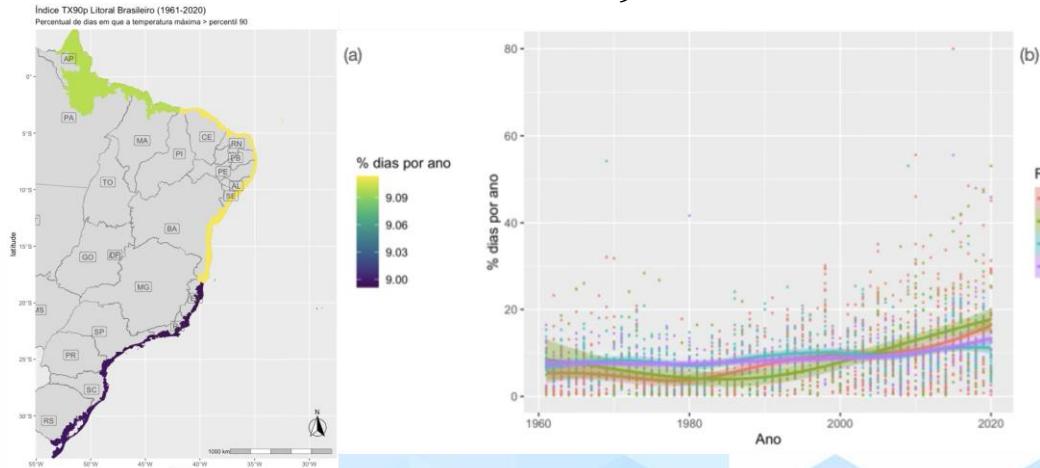


Fonte: Dados IBGE e INMET.

Considerando o cenário evidente de aquecimento global (IPCC, 2014 e 2023) e os resultados anteriormente representados sobre o incremento de *TXm* e *TNm* ao longo do litoral brasileiro não surpreende o fato de *TX10p* diminuir ao longo das décadas. Tal representação gráfica na Figura 7 (b) é bastante expressiva ao apontar essa tendência. Destaca-se a redução em 5% do *TX10p* para o litoral brasileiro como um todo. O litoral da região Nordeste do país acumulou maior redução (-9,7%) enquanto que a região sul acumulou a menor redução (-0,7%).

A Figura 8 apresenta os resultados para o *TX90p* (percentual de dias por ano em que a temperatura máxima foi maior que o nonagésimo percentil) representando a fração dos dias mais quentes do ano. Para o litoral brasileiro tal índice é de 9,2% ($\pm 7,3$) com variações regionais pouco expressivas. Merece atenção as variações interanuais relevantes conforme mostram os dados de desvio padrão e o gráfico. Para o litoral da região Norte o resultado foi de 9,5% ($\pm 9,6$), para o litoral da região Nordeste 9,2% ($\pm 8,8$), para o litoral da região Sudeste 9,5% ($\pm 5,5$) e para o litoral da região Sul 9,1% ($\pm 5,9$).

Figura 8: Composição entre Mapa (a) e Gráfico (b) representando a série histórica do índice *TX90p* - *Percentual de Dias do Ano em que a Temperatura Máxima foi Maior que o Percentil 90*

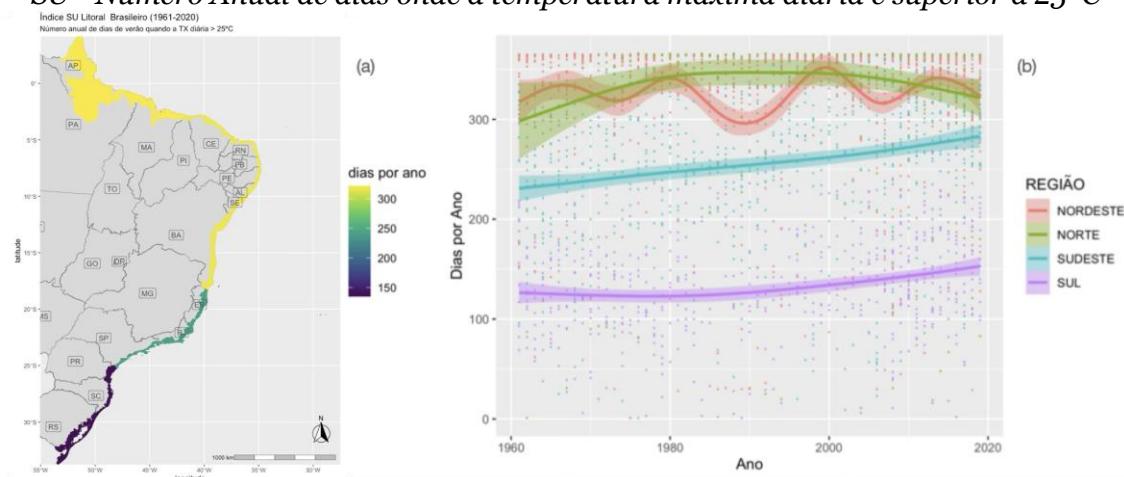


Fonte: Dados IBGE e INMET.

Também considerando os resultados anteriores não surpreende que $TX90p$ venha aumentando ao longo dos anos. O gráfico da Figura 8 (b) aponta esta tendência. Para o litoral brasileiro o índice subiu 7,1% nos últimos 60 anos (0,12/ano) e tal oscilação foi maior no litoral da região Nordeste com 11% (0,18/ano), seguido da região Norte com 8,5% (0,14/ano) depois as regiões Sudeste e Sul com 4% (0,07/ano) e 4,6% (0,08/ano) respectivamente. Outro destaque evidente no gráfico é para a curva da região Norte que, se considerado apenas entre 1991 e 2020 o incremento no índice foi de 15,5% ou 0,5% ao ano.

A Figura 9 apresenta informações relativas ao índice SU (número anual de dias onde a temperatura máxima foi superior a 25°C). Tem-se para o litoral brasileiro o resultado de 269,3 ($\pm 100,1$) dias por ano. Tais resultados são bastante influenciados zonalmente e as variações entre as regiões litorâneas do país são relevantes. O maior valor de SU ocorre no litoral da região Norte com 337,3 ($\pm 71,7$), seguido pelo litoral da região Nordeste com 327,9 ($\pm 68,5$); depois pelas estações no litoral da região Sudeste com 256,9 ($\pm 71,7$) e região Sul com 133,7 ($\pm 48,4$).

Figura 9: Composição entre Mapa (a) e Gráfico (b) representando a série histórica do índice SU - Número Anual de dias onde a temperatura máxima diária é superior a 25°C



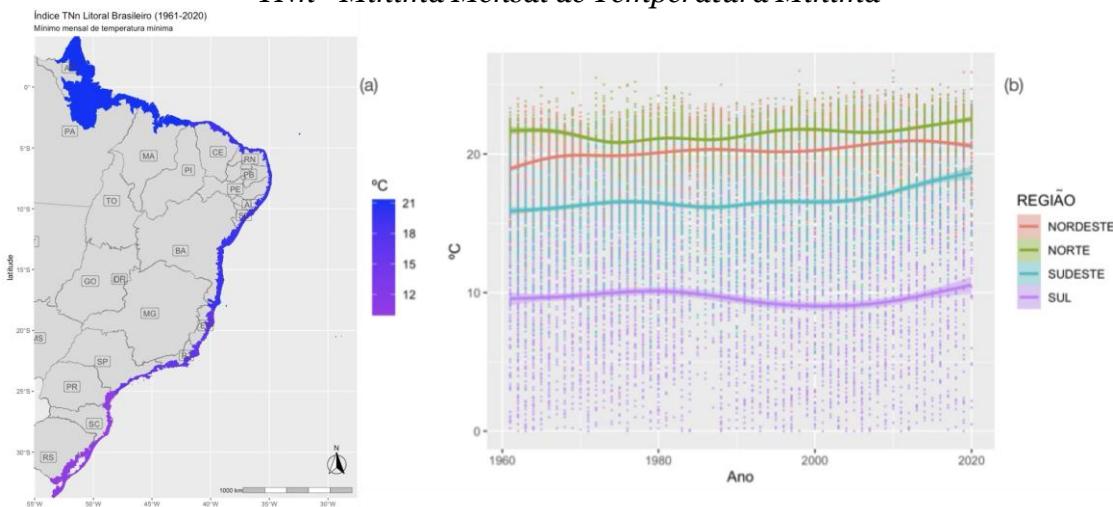
Fonte: Dados IBGE e INMET.

Considerando a série histórica para SU (Figura 9 b) tem-se o registro de aumento para todas as regiões com destaque para o litoral da região Sudeste com incremento médio de 0,9 dias/ano. Para o litoral da região Nordeste o padrão se manteve praticamente estável uma vez que em 60 anos o incremento foi de 2,3 dias ou 0,04 dias/ano. Para o litoral brasileiro a tendência geral de SU é positiva e o aumento médio foi de 0,9 dias/ano. Os testes de significância apontam que apenas 25% das estações apresentam confiança superior a 95%.

Índices de temperaturas mínimas (TN) para o litoral brasileiro

A Figura 10 apresenta os resultados referentes ao TNn (mínimo mensal de temperatura mínima), caracterizando a noite mais fria do mês a cada ano. Destaca-se que o menor registro deste índice na série foi -2,8°C na estação Pelotas-RS em junho de 1964. Para o litoral brasileiro o TNn médio foi 17,3°C ($\pm 5,3$) com significativas variações regionais apontando novamente um padrão zonal de distribuição do índice sendo 21,6°C ($\pm 1,5$) no litoral da região Norte; 20,3°C ($\pm 2,2$) no litoral da região Nordeste; 16,7°C ($\pm 3,3$) no litoral da região Sudeste; e 10°C ($\pm 5,2$) no litoral da região Sul. Conforme observa-se no sentido sul-norte os valores de TNn aumentam ao passo que os desvios padrões diminuem.

Figura 10: Composição entre Mapa (a) e Gráfico (b) representando a série histórica do índice *TNn* - *Mínima Mensal de Temperatura Mínima*

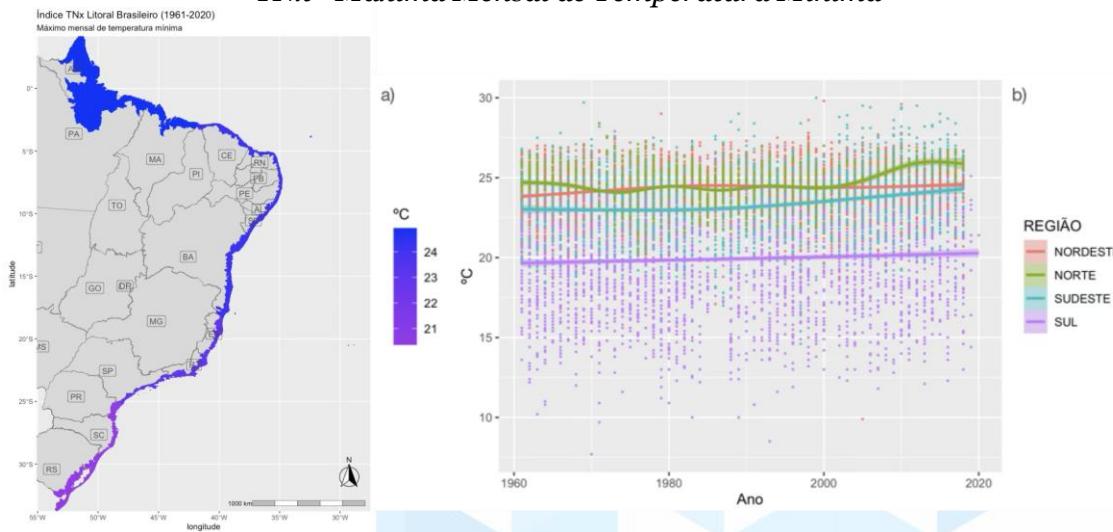


Fonte: Dados IBGE e INMET.

Considerando a série histórica do *TNn*, o gráfico da Figura 10 (b) ilustra as oscilações com tendência de incremento para todas as regiões. No litoral brasileiro o incremento do *TNn* foi de $2,5^{\circ}\text{C}$ ou $+0,04^{\circ}\text{C}/\text{ano}$. Destaca-se o litoral da região Sudeste com o maior aumento ($1,65^{\circ}\text{C}$ ou $0,03^{\circ}\text{C}/\text{ano}$) e o litoral da região Sul com o menor aumento ($0,77^{\circ}\text{C}$ ou $0,01^{\circ}\text{C}/\text{ano}$) ambos concentrados sobretudo a partir da década de 1990.

A Figura 11 apresenta resultados para o índice *TNx* (máxima mensal de temperatura mínima). Para o litoral brasileiro, tal índice extraiu o valor de 23°C ($\pm 2,8$) com variações regionais que novamente confirmam a tendência zonal. As maiores *TNx* foram no litoral da região Norte com $24,6^{\circ}\text{C}$ ($\pm 1,4$), seguido do litoral da região Nordeste $24,3^{\circ}\text{C}$ ($\pm 1,8$), depois litoral Sudeste com $22,9^{\circ}\text{C}$ ($\pm 2,2$) e Sul com $20,1^{\circ}\text{C}$ ($\pm 3,2$) novamente com a inversão da tendência em relação ao desvio padrão.

Figura 11: Composição entre Mapa (a) e Gráfico (b) representando a série histórica do índice *TNx* - *Máxima Mensal de Temperatura Mínima*



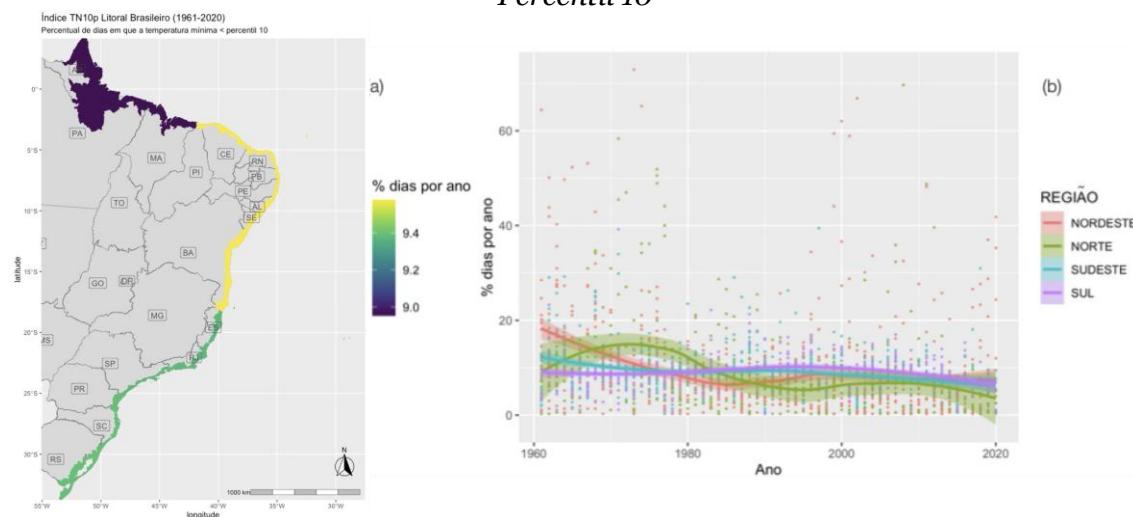
Fonte: Dados IBGE e INMET.

Ao observar o gráfico da Figura 11 (b) nota-se as oscilações no *TNx* por região e tais resultados permitiram atestar o incremento do índice em $1,7^{\circ}\text{C}$ em 60 anos ou $+0,03^{\circ}\text{C}/\text{ano}$

para o litoral brasileiro. As estações posicionadas ao longo do litoral Nordeste e Sudeste são ligeiramente mais representativas de tal tendência. O teste de significância estatística aplicado aponta, no entanto, que um terço das estações apresentaram grau de confiança acima de 95%.

A Figura 12 apresenta resultados para *TN10p* (percentual de dias do ano em que a temperatura mínima foi menor que o décimo percentil).

Figura 12: Composição entre Mapa (a) e Gráfico (b) representando a série histórica do índice *TN10p - Percentual de Dias do Ano em que a Temperatura Mínima foi Menor que o Percentil 10*



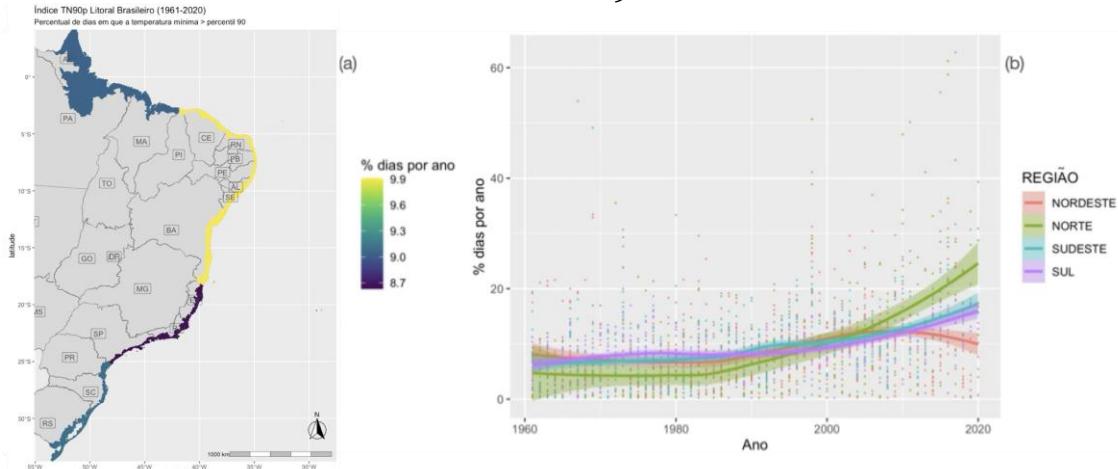
Fonte: Dados IBGE e INMET.

Para o litoral brasileiro o *TN10p* foi de 9,1% ($\pm 7,2$) com variações espaciais pouco significativas, mas com variações interanuais relevantes conforme apontam os dados de desvio padrão e o gráfico (Fig. 12 b). Ao longo do litoral brasileiro o valor de *TN10p* variou entre 9% ($\pm 8,7$) no litoral da região Nordeste e 9,2% ($\pm 2,2$) no litoral da região Sudeste com diferenças importantes no desvio padrão para o litoral da região Norte 9,1% ($\pm 10,7$) sendo o maior e no litoral da região Sul 9,1% ($\pm 3,8$) sendo o menor.

Considerando ainda a série histórica e as variações interanuais no *TN10p* registra-se de maneira geral uma diminuição para o litoral brasileiro de 4,2% no período ou -0,01% por ano. Cabe o destaque para o litoral da região Norte onde a redução foi de 10% (-0,09/ano) e para o litoral da região Sul onde a redução foi mínima, -0,2% durante toda a série.

A Figura 13 reune as informações para o índice *TN90p* (percentual de dias por ano onde a temperatura mínima foi maior que o nonagésimo percentil), que representa a fração anual das noites mais quentes. Para o litoral brasileiro, o *TN90p* foi de 9,2% ($\pm 0,3$) com variações regionais que apontam 9,5% ($\pm 0,1$) para o litoral da região Nordeste; 8,7% ($\pm 0,1$) para o litoral da região Sudeste; e 9% para os litorais das regiões Norte e Sul.

Figura 13: Composição entre Mapa (a) e Gráfico (b) representando a série histórica do índice TN9op - *Percentual de Dias do Ano em que a Temperatura Mínima foi Maior que o Percentil 90*

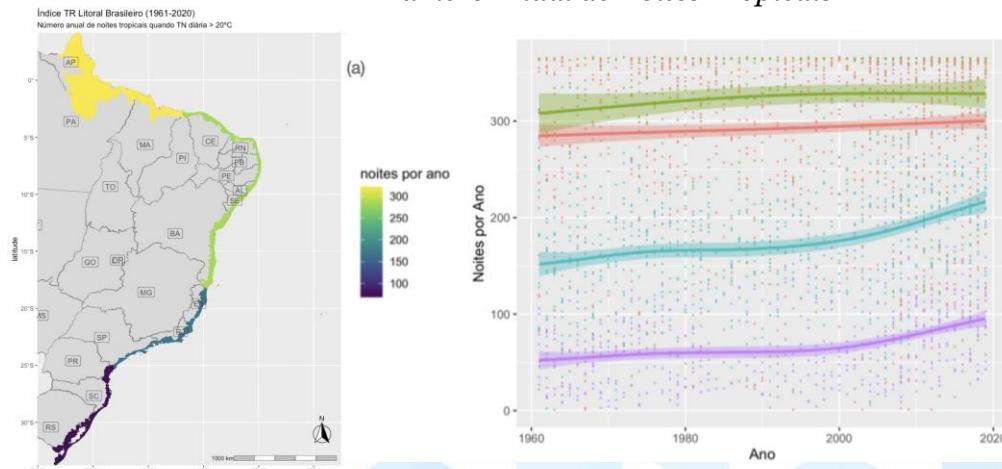


Fonte: Dados IBGE e INMET.

Considerando as oscilações interanuais do TN9op (Figura 13 b), há tendência de aumento e isto é mais expressivo nas estações que compõem o litoral da região Norte (12% ou +0,2%/ano); seguido das estações representativas do litoral da região Sudeste (5,9% ou +0,1%/ano); e de forma menos expressiva nas regiões Nordeste (4,1% ou +0,07%/ano) e Sul (4,8% ou +0,08%/ano). Tais resultados apontam para a taxa de aumento em 5,8% para o litoral brasileiro representando um aumento médio de +0,1% ao ano no índice.

A Figura 14 apresenta os resultados para o índice TR (número anual de noites onde a temperatura mínima foi superior a 20 graus celsius). Para o litoral brasileiro o valor foi 215,3 ($\pm 115,5$) com expressivas variações regionais que apontam para o litoral da região Norte 323,3 ($\pm 74,9$) noites por ano e para o litoral da região Sul 67,9 ($\pm 38,9$) noites por ano. Os valores para os litorais das regiões Sudeste e Nordeste retornaram respectivamente 176,5 ($\pm 60,3$) e 291,1 ($\pm 83,5$).

Figura 14: Composição entre Mapa (a) e Gráfico (b) representando a série histórica do índice TR - *Número Anual de Noites Tropicais*



Fonte: Dados IBGE e BDMEP INMET, processados em R.

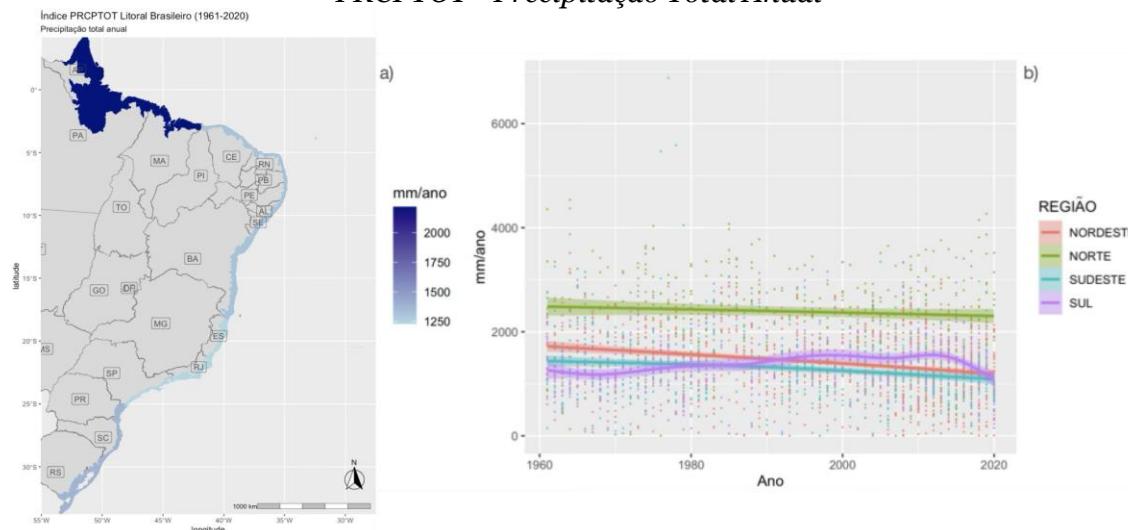
Considerando a série histórica para TR verifica-se incremento para o litoral brasileiro de 53,8 dias, na taxa de 0,9 dias por ano e de acordo com o gráfico na Figura 14 (b) tal aumento

foi maior nas estações representativas do litoral Sul e Sudeste brasileiro onde, respectivamente, os resultados para 60 anos apontam aumento de 31,6 e 54,3 dias por ano.

Índices de precipitação

A Figura 15 apresenta os resultados para o índice *PRCPTOT* (precipitação total anual). Tem-se o valor médio para o litoral brasileiro de 1.489,6 ($\pm 749,3$) mm/ano com evidentes variações regionais (Figura 15 a) que apontam o litoral da região Norte como o mais úmido 2.382,1 ($\pm 832,3$) mm/ano e o litoral da região Sudeste como o menos úmido 1.279,9 ($\pm 676,9,3$) mm/ano. Os valores para os litorais das regiões Nordeste e Sul registraram, respectivamente, 1.412,9 ($\pm 673,1$) e 1.376,4 ($\pm 524,5$) mm/ano.

Figura 15: Composição entre Mapa (a) e Gráfico (b) representando a série histórica do índice *PRCPTOT - Precipitação Total Anual*

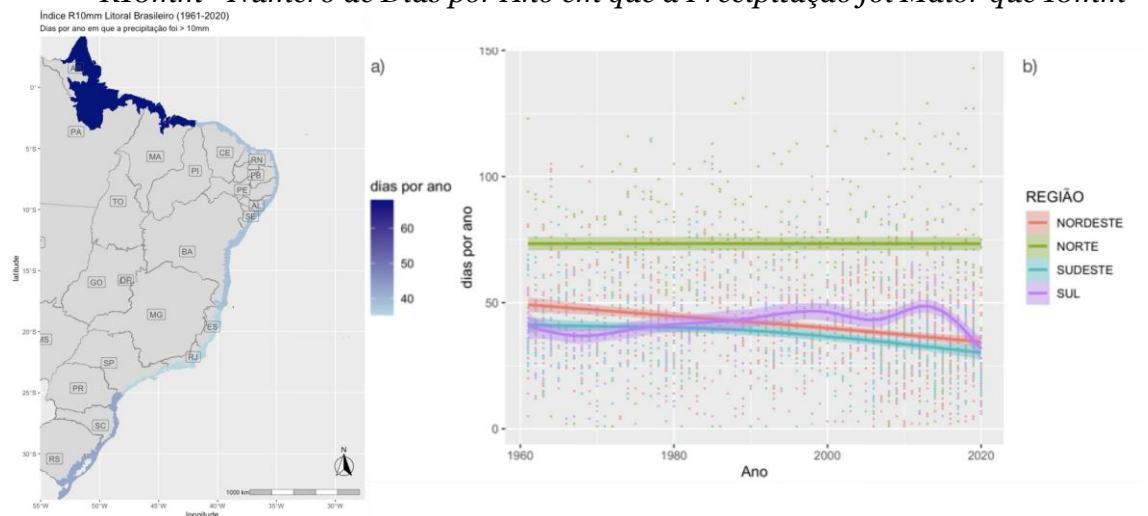


Fonte: Dados IBGE e INMET.

Considerando a série histórica para *PRCPTOT* (Figura 15 b) têm-se uma leve tendência de diminuição dos acumulados anuais de precipitação que, ao longo da série e considerando todas as estações analisadas, apontam para o litoral brasileiro uma redução de 245,9 mm ou -4,1 mm a cada ano. As reduções mais expressivas vem sendo registradas nas estações que representam o litoral da região Sudeste (-780 mm no período ou -13 mm/ano) e Nordeste (-552,2 mm no período ou -9,2 mm/ano).

Já a Figura 16 apresenta os resultados representativos do *R10mm* (número anual de dias com precipitação > 10mm). Para o litoral brasileiro o resultado foi de 47,6 ($\pm 21,6$) dias e, conforme o mapa da Figura 16 (a) existem variações regionais que indicam a maior quantidade de no litoral da região Norte com 80 ($\pm 51,4$) dias, seguido do litoral da região Sul com 49 ($\pm 12,4$) dias, depois o litoral das regiões Nordeste e Sudeste, respectivamente com 46,7 ($\pm 18,9$) e 41,2 ($\pm 18,5$) dias por ano.

Figura 16: Composição entre Mapa (a) e Gráfico (b) representando a série histórica do índice *R10mm* - Número de Dias por Ano em que a Precipitação foi Maior que 10mm

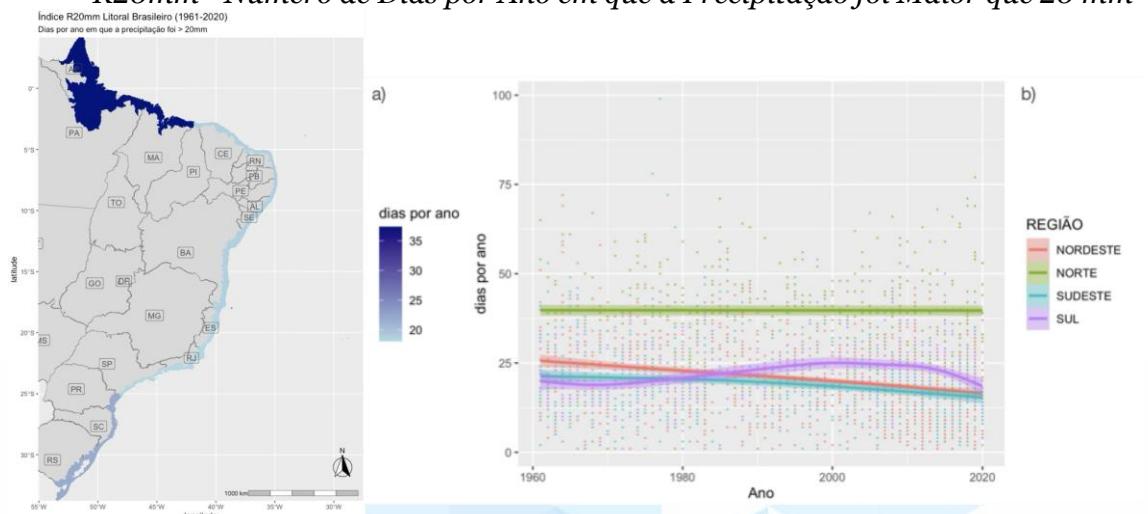


Fonte: Dados IBGE e INMET.

Considerando a série histórica para *R10mm* aponta-se tendência pouco expressiva de aumento no número de “dias com chuvas fortes” para o litoral brasileiro de 24,5 dias no período ou na taxa de 0,4 dias/ano, sobretudo impulsionado pelas variações ligeiramente positivas no litoral da região Norte (0,5 dias/ano) e Sul (0,2 dias/ano). Já no litoral das regiões Sudeste e Nordeste há tendência de diminuição no índice em taxas de, respectivamente, -0,3 e -0,2 dias/ano.

Os resultados para *R20mm* (número anual de dias com precipitação > 20mm), não apresentam tendências muito diferentes e apontam para o litoral brasileiro 22,6 ($\pm 12,6$) dias/ano, com variações regionais significativas na forma em que o mapa na Figura 17 (a) ilustra. O *R20mm* no litoral da região Norte é de 39,7 ($\pm 13,7$) dias/ano, enquanto que no litoral da região Sudeste é 18,8 ($\pm 10,9$) dias. Já o litoral das regiões Nordeste e Sul retornaram, respectivamente os valores de 20,3 ($\pm 10,6$) e 21,9 ($\pm 8,8$) dias/ano.

Figura 17: Composição entre Mapa (a) e Gráfico (b) representando a série histórica do índice *R20mm* - Número de Dias por Ano em que a Precipitação foi Maior que 20 mm

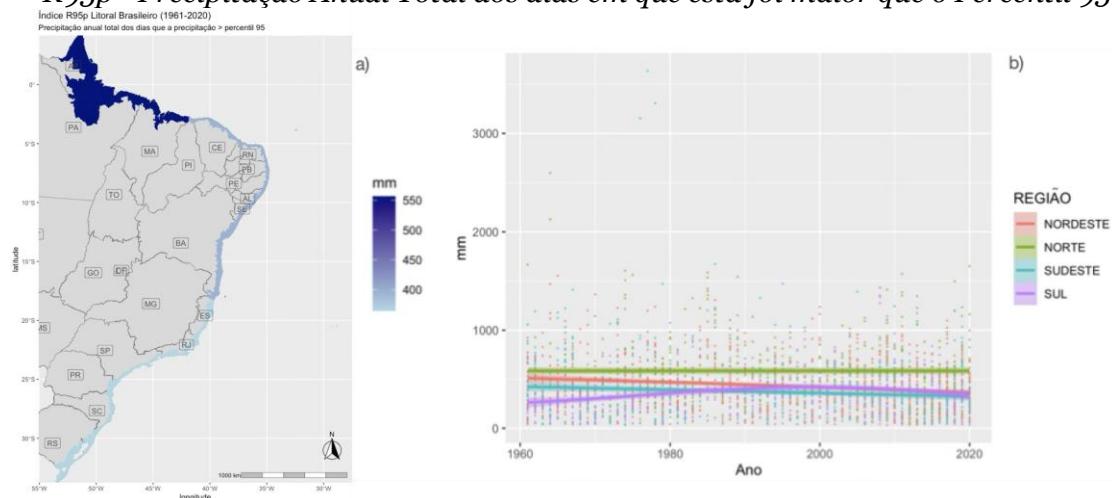


Fonte: Dados IBGE e BDMEP INMET.

Considerando a série histórica para $R20mm$ no litoral brasileiro aponta-se uma tendência de estabilidade uma vez que a taxa encontrada foi de +0,03 dias/ano. No entanto é evidente no gráfico que existem reduções neste índice para as estações representativas do litoral Nordeste e Sudeste na ordem de -0,2 e -0,3 dias/ano.

Os resultados representativos do $R95p$ (precipitação total anual nos dias em que esta foi maior do que o nonagésimo quinto percentil) estão apresentados na Figura 18 e apontam que para o litoral brasileiro o valor de 418,3 ($\pm 296,7$) mm/ano, algo em torno de 28% do $PRCPTOT$. Conforme aponta o mapa existem variações regionais que indicam maior acumulado no litoral da região Norte com 585,9 ($\pm 321,9$) mm/ano e o menor na região Sul com 362,4 ($\pm 218,8$) mm/ano, enquanto nos litorais das regiões Sudeste e Nordeste, tais valores foram respectivamente 372,6 (± 325) mm/ano e 427,2 ($\pm 284,2$) mm/ano.

Figura 18: Composição entre Mapa (a) e Gráfico (b) representando a série histórica do índice $R95p$ - Precipitação Anual Total dos dias em que esta foi maior que o Percentil 95

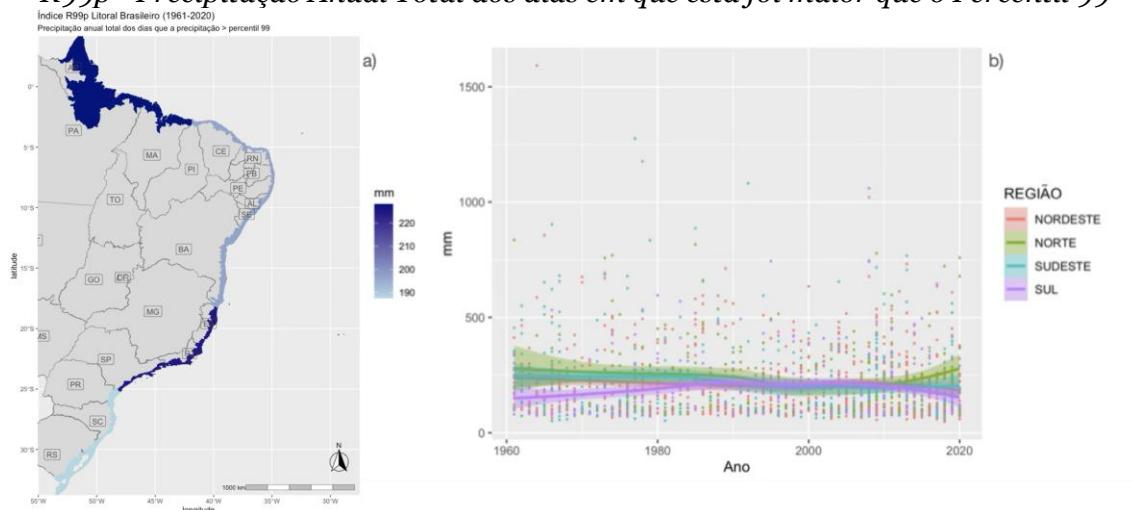


Fonte: Dados IBGE e INMET.

Considerando a série histórica para $R95p$, para o litoral brasileiro há a tendência de diminuição na ordem de -13,7 mm/ano, especialmente nas estações representativas do litoral da região Sudeste (-11,7 mm/ano) e Nordeste (-6,4 mm/ano).

Já os resultados para $R99p$ (precipitação total anual nos dias em que esta foi maior do que o nonagésimo nono percentil) estão representados na Figura 19. Tal acumulado considerando todas as estações do litoral brasileiro ao longo da série histórica retornou o valor de 211,7 ($\pm 151,3$) mm com variações regionais que indicam maiores acumulados no litoral da região Norte e menores no litoral da região Sul, respectivamente com os valores de 233,3 ($\pm 156,9$) e 189 ($\pm 125,5$) mm.

Figura 19: Composição entre Mapa (a) e Gráfico (b) representando a série histórica do índice *R99p* - *Precipitação Anual Total dos dias em que esta foi maior que o Percentil 99*



Fonte: Dados IBGE e INMET.

Considerando a série histórica para *R99p* os resultados apontam que o acumulado anual de chuvas dos dias "extremamente molhados" vem reduzindo em taxas de -4,6 mm/ano, sobretudo impulsionados pelas reduções nas regiões Sudeste (-4,0 mm/ano) e Nordeste (-3,4 mm/ano).

Discussão

A tabela II sumariza as tendências encontradas na análise dos dezoito índices de extremos climáticos para o litoral brasileiro conforme dados históricos diários das 118 estações e tais resultados permitem alguma discussão com o que foi encontrado na literatura.

Tabela 2 – Resumo das tendências nos índices de extremos de temperatura e precipitação para o litoral brasileiro considerando o período 1960-2020

Índice	Tendências para o Litoral Brasileiro	Unidade	Teste de Tendência (MK) foi significativo em (%) das estações
TXm	↑ + 0,04	°C por ano	47%
TNm	↑ + 0,03	°C por ano	31%
DTR	≥ 0,00	°C por ano	75%
TXx	↑ + 0,03	°C por ano	46%
TXn	↑ + 0,04	°C por ano	33%
TX1op	↓ - 0,08	% dias por ano	34%
TX9op	↑ + 0,12	% dias por ano	41%
TNn	↑ + 0,04	°C por ano	34%
TNx	↑ + 0,03	°C por ano	26%

TN1op	↓ - 0,07	% dias por ano	21%
TN9op	↑ + 0,10	% dias por ano	30%
SU	↑ + 0,92	número de dias por ano	26%
TR	↑ + 1,19	número de dias por ano	22%
PRCPTOT	↓ - 4,10	mm por ano	14%
R10mm	↑ + 0,4	número de dias por ano	12%
R20mm	↑ + 0,03	número de dias por ano	12%
R95p	↓ - 13,10	mm por ano	11%
R99p	↓ - 4,65	mm por ano	3%

Fonte: Análise dos dados das estações do INMET com base nos índices de extremos climáticos.

De uma maneira geral, existe a tendência de aumento nos valores dos índices derivados de temperaturas, sobretudo naqueles de temperaturas mínimas nos estudos de extremos climáticos aplicados no mundo. Alexander et al, (2005), em um estudo global, citam, por exemplo, que em 70% das áreas continentais amostradas houve uma significativa diminuição na ocorrência anual de noites frias (*TN1op*) e um significativo aumento na ocorrência anual das noites quentes (*TN9op*). Os resultados aqui apresentados são concordantes com ambas.

King et al, (2024) também a partir de uma análise global usando métodos de estatística multivariada sobre dados observados mostram que o sinal da temperatura controla as mudanças climáticas e que o período entre 1991-2020 é mais relevante para detectar tais alterações, sobretudo em áreas que incluem o leste da América do Sul.

Ainda na perspectiva global, sobre os índices de precipitação a tendência geral dos aponta para um mundo mais úmido, mas para Tebaldi et al, (2006) isso não é consensual quando se trata de análises regionalizadas. Li et al, (2024) também em análise global, ainda pontuam que até os anos 1980 as tendências eram de redução nos extremos de precipitação, o que se inverteu a partir de então.

Neste trabalho, por exemplo, o índice (*PRCPTOT*) para os litorais Sudeste e Nordeste brasileiro apontam tendências de redução na precipitação enquanto para os litorais Norte e Sul a tendência acompanha as perspectivas globais de um planeta mais úmido. Já os índices *R10mm* e *R20mm* apontam tendência positiva o que é concordante com a tendência global tanto para dados observados quanto para dados modelados o que, na prática, indica que para determinado evento de precipitação, proporcionalmente maior quantidade de água deve cair em um planeta mais quente (Tebaldi et al, 2006), o que impõe novos desafios sobre a vulnerabilidade a desastres naturais.

Para a América do Sul, Vincent et al, (2005), Marengo et al, (2010), Skansi et al, (2013) e Lagos-Zúñiga et al, (2024) encontraram tendências claras de aumento nos índices relacionados à temperatura mínima, mais especificamente no aumento das noites quentes (*TN9op*) e na diminuição das noites frias (*TN1op*) para todo o continente sul-americano, padrão também bem claro a partir dos dados aqui apresentados.

Tal cenário se mantém com elevado grau de confiança quando Marengo et al, (2009) o projetam para o futuro (2071-2100). Marengo et al, (2010) encontraram também para o sudeste da América do Sul uma tendência de aumento no número de dias com chuvas fortes (*R10mm*) na ordem de 0,3 dias/ano, semelhante ao encontrado aqui (0,4 dias/ano).

Ainda para a América do Sul, Marengo et al, (2009) projetaram tendências de pequenas ou nenhuma mudança nos padrões de precipitação para a região que inclui o litoral da região Norte e Nordeste quando comparado com o restante do continente. Já Haylock et al, (2006) encontraram tendência para condições mais úmidas para o sul enquanto Lagos-Zúñiga et al, (2024) encontraram o mesmo para o sudeste do continente.

Tais informações parcialmente confirmam os resultados aqui encontrados onde as estações no litoral Sul e Sudeste brasileiro apresentaram, respectivamente, tendências positivas e negativas para o *PRCPTOT* em uma ordem de grandeza superior às tendências encontradas para o litoral Norte e Nordeste.

No Brasil, Obregón e Marengo (2007) observaram tendências de aumento na temperatura máxima média de até 0,6°C/década ou aproximados 2,5°C em 40 anos, o que é se aproxima ao 0,4°C/década (0,04°C/ano ou 2,25°C em 60 anos) como encontrado neste trabalho.

Os mesmos autores, Obregón e Marengo (2007), verificaram que para o índice *PRCPTOT* existem tendências negativas para algumas estações no Sudeste brasileiro incluindo dados em municípios litorâneos (entre -18 e -200 mm/ano) e tendências positivas para outras estações também no interior da região Sudeste (entre +16 e +200 mm/ano). Tais discrepâncias também como também foram observadas por Zilli et al, (2016) que mostram tendências de diminuição na precipitação total no RJ, o que aqui é confirmado, e também para o ES e inversamente encontraram aumento da precipitação total em SP, apesar de que para todos esses Estados houve aumento nas chuvas fortes (R95p), algo não corroborado pelos resultados para o litoral sudeste aqui encontrados.

Tais oscilações também foram aqui encontradas e no cômputo regional aponta-se a tendência de diminuição para este índice no litoral Sudeste brasileiro na ordem de -13 mm/ano considerando toda a série histórica e aproximados -18 mm/ano considerando o período entre 1991-2020 o que se assemelha ao resultado encontrado por Obregón e Marengo (2007). Outra observação para os dados de precipitação obtida em estação litorânea na região Norte indica uma tendência positiva para tal índice o que novamente é corroborado pelos resultados neste trabalho.

Algo semelhante na escala nacional foi encontrado também por Regoto et al, (2021) que apontam sinais heterogêneos nos índices de extremos climáticos de precipitação ao longo do país, pontuando tendências claras de aumento no litoral da região Sul que vem se tornando mais úmido e de redução na região Nordeste onde o clima vem se tornando mais árido, tendência também confirmada por Santos et al, (2024) e neste trabalho. Ainda para Regoto et al, (2021), na região Norte e Sudeste os sinais são heterogêneos sem tendências claras.

No entanto, Silva et al, (2019) entre 1980 e 2013 encontraram tendências negativas expressivas para *PRCPTOT* na região metropolitana de Belém – PA e Salvador-BA, e também para outras mesorregiões no litoral Norte e Nordeste do país. Isso destaca a discrepância entre estudos diferentes para as mesmas regiões, talvez derivado da baixa capacidade da rede de estações e mesmo modelos regionais representarem bem os índices extremos de precipitação em comparação com a melhor reprodução de médio e longo termo dos índices de temperatura, como indicam Lagos-Zúñiga et al, (2024) e King et al, (2024).

Os resultados de Costa et al, (2020), em um intervalo temporal semelhante ao aqui avaliado, para a região Nordeste, encontraram tendências negativas para *PRCPTOT* na maioria das 96 estações analisadas e tal resultado é concordante com o encontrado para o litoral desta região, assim como são concordantes entre estes trabalhos os índices que apontam redução no percentual de dias frios (*TX10p*) e noites frias (*TN10p*) e aumento no percentual de dias (*TX90p*) e noites (*TN90p*) quentes para o litoral Nordeste do país.

Objetivamente não se trata de uma comparação destes estudos com o aqui apresentado uma vez que os métodos e abordagens são diferentes e permitem sobretudo uma discussão qualitativa em relação a tais tendências. No entanto uma agenda de pesquisa no contexto da Geografia Marinha permitiria aprofundar e observar as nuances dos extremos climáticos nas escalas locais e regionais considerando tendências sazonais, dados observacionais ou

modelados para um número mais concentrado de estações, métodos estatísticos mais robustos e a utilização de modelos para a projeção futura das mudanças climáticas e os potenciais impactos aos ecossistemas litorâneos do país.

Conclusões

Os dados diários de temperaturas máximas, mínimas e de precipitação permitem o cálculo e a análise de índices de extremos climáticos e tal ferramenta é útil para a comparação de resultados e para acessar as tendências de mudanças e variabilidade climática. Na escala macro para o litoral brasileiro tais índices apontam uma tendência geral de aumento nas temperaturas máximas e mínimas e de diminuição no volume anual de precipitação. No entanto, para os índices de precipitação os índices apontam um aumento na concentração das chuvas fortes acima de 10mm/dia. Há também significativas variações na precipitação quando se analisa o recorte regional.

Considerando tais fatos os principais resultados apontam um aumento nas taxas mínimas, médias e máximas das temperaturas máximas e mínimas para o litoral brasileiro na ordem de $+0,04^{\circ}\text{C}$ e $+0,03^{\circ}\text{C}$ por ano. Há também uma tendência clara e semelhante de redução no percentual de dias mais frios ($-0,08\%$) e de noites mais frias ($-0,07\%$) por ano. Também são semelhantes as taxas anuais de aumento no percentual de dias ($+0,12\%$) e noites mais quentes ($+0,10\%$). O número anual de dias com temperaturas superiores a 25°C vêm aumentando em taxas de 9 dias por década e o número de noites com temperaturas acima de 20°C aumenta cerca de 12 dias por década.

Quanto aos índices de precipitação a tendência para o litoral brasileiro é de diminuição na ordem de $-4,1\text{ mm/ano}$, mas tal informação deve ser contextualizada na escala regional uma vez que as discrepâncias não são pequenas. O número de dias por ano com chuvas fortes ($>10\text{mm}$) aumenta timidamente em taxas de 4 dias por década enquanto o acumulado das chuvas nos dias muito molhados ($R95p$) diminui cerca de 130mm por década.

O litoral Norte brasileiro é o mais úmido enquanto o litoral Sudeste brasileiro é o menos úmido. E as tendências encontradas tendem a ampliar tais diferenças. O litoral Norte e Nordeste apresentam as temperaturas médias mais altas, mas quando se consideram as temperaturas máximas os maiores valores estão concentrados no litoral Sudeste e Nordeste. O litoral da região Sul é o mais frio seja nas condições médias, máximas ou mínimas, no entanto, verificou-se que o aumento no número anual de “noites tropicais” ($TN > 20^{\circ}\text{C}$) ao longo da série histórica foi maior na região Sul do que na região Norte, o mesmo acontecendo para os “dias de verão” ($TX > 25^{\circ}\text{C}$).

Por fim, defende-se que a observação, os modelos e as ferramentas para a análise e interpretação de um grande conjunto de informações e dados climáticos são fundamentais para diagnosticar e prognosticar as tendências de extremos climáticos e, especificamente para o litoral brasileiro, permite abrir uma agenda de pesquisa relevante para a Geografia Marinha, especialmente importante na Década dos Oceanos.

Referências

AB'SABER, A. N.; HOLMQUIST, C. **Litoral do Brasil**: Brazilian Coast. [S.l: s.n.], 2001.

ALEXANDER, L.V.; ZHANG, X.; PETERSON, T. C.; CAESAR, J.; GLEASON, B.; KLEIN TANK, A.M.G.; HAYLOCK, M.; COLLINS, D.; TREWIN, B.; RAHIMZADEH, F.; TAGIPOUR, A.; RUPA KUMAR, K.; REVADEKAR, J.; GRIFTHS, G.; VINCENT, L.; STEPHENSON, D.B.; BURN, J.; AGUILAR, E.; BRUNET, M.; VAZQUEZ-AGUIRRE, J. L. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. **Journal of Geophysical Research**, v. 111, n.5, 2006. <https://doi.org/10.1029/2005JD006290>

BRASIL. Ministério da Economia. Manual Projeto Orla. Brasília: Ministério da Economia, 2022. 324p.

CHANG, M.; DERECHYNSKI, C.; FREITAS, M.A.V.; CHO, S.C. Climate change index: a proposed methodology for assessing susceptibility to future climatic extremes. **American Journal of Climate Change**, 3, 2014. <https://doi.org/10.4236/ajcc.2014.33029>.

CORDEIRO, M.L.P; JUNIOR, G.C.S.; DERECHYNSKI, C.; CHRISPIM, Z.M.P.; MELO, M.T.C. Analysis of indicators of climate extremes and projection of groundwater recharge in the northern part of the Rio de Janeiro state, Brazil. **Environment, Development and Sustainability**, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01441-w>.

COSTA, R.L.; BAPTISTA, G.M.M.; GOMES, H.B.; SILVA, F.D.S; JUNIOR, R.L.R.; SALVADOR, M.A.; HERDIES, D.L. Analysis of climate extremes indices over northeast Brazil from 1961 to 2014. **Weather and Climate Extremes**, 28, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2020.100254>

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation**, Cambridge University Press, Cambridge, 2012 doi:10.1017/CBO9781139177245

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2014: Synthesis Report Summary for Policymakers**. 2014. URL: http://ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policymakers. In: **Climate Change 2023: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34, 2023 doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001

HAYLOCK, M.R.; PETERSON, T.C.; ALVES, L.M.; AMBRIZZI, Y.M.; ANUNCIAÇÃO, M.T.; BAEZ, J.; BARROS, V.R.; BERLATO, M.A.; BIDEGAINS, M.; CORONEL, G.; CORRADI, V.; GARCIA, V.J.; GRIMM, A.M.; KAROLY, D.; MARENGO, J.A.; MARINO, M.B.; MONCUNILL, D.F.; NECHET, D.; QUINTANA, J.; REBELLO, E.; RUSTICUCCI, M.; SANTOS, J.L.; TREBEJO, I.; VINCENT, L.A. Trends in total and extreme South America rainfall in 1960-2000 and links with sea surface temperature. **Journal of Climate**, 19, 2006. <https://doi.org/10.1175/JCLI3695.1>

JUSTI DA SILVA, M.G.A.; DIAS, M.A.F.S. A freqüência de fenômenos meteorológicos na América do Sul: Uma climatologia. **Anais do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Foz do Iguaçu, 2002.

KING, A.D.; HARRINGTON, L.J.; HAWKINS, E.; PAIK, S.; LIEBER, R.; MIN, S.; BOROWIAK, A.R. Emergence of multivariate climate change signals. **Environmental Research Letters**, v. 19, 2024. DOI: 10.1088/1748-9326/ad677f

LAGOS-ZÚÑIGA, M.; BALMACEDA-HUARTE, R.; REGOTO, P. TORREZ, L. OLMO, M.; LYRA, A. PAREJA-QUISPE, D.; BETTOLLI, M.L. Extreme indices of temperature and precipitation in South America: trends and intercomparison of regional climate models. **Climate Dynamics**, v. 62, p. 4541-4562, 2024. <https://doi.org/10.1007/s00382-022-06598-2>

LI, S.; CHEN, Y.; WEI, W.; FANG, G.; DUAN, W. The increase in extreme precipitation and its proportion over global land. **Journal of Hydrology**, v. 628, 2024, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.130456>.

LORENZ, R.; PITMAN, A.J.; DONAT, M.G.; HIRSCH, A.L.; KALA, J.; KOWALCZYK, E.A.; LAW, R.M.; SRBINOVSKY, J. Representation of climate extreme indices in the ACCESS1.3b coupled atmosphere-land surface model. **Geoscience Model Development**, v. 7, p. 545-567, 2014. doi:10.5194/gmd-7-545-2014

MARENGO, J.A.; JONES, R.; ALVES, L.M.; VALVERDE, M.C. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECI regional climate modeling system. **International Journal of Climatology**, 29, 2009. <https://doi.org/10.1002/joc.1863>

MARENGO, J.A.; RUSTICUCCI, M.; PENALBA, O.; RENOM, M. An intercomparison of observed and simulated extreme rainfall and temperature events during the last half of the twentieth century: Part 2: historical trends. **Climatic Change**, 98 | 2010. <https://doi.org/10.1007/s10584-009-9743-7>

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Macrodiagnóstico da zona costeira e marinha do Brasil**. Orgs. Zamboni, A; Nicolodi, J.L. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2008.

MONTEIRO, C.A.F. A frente polar atlântica e as chuvas de inverno na fachada sul-oriental do Brasil (contribuição metodológica à análise rítmica dos tipos de tempo no Brasil). USP, São Paulo, 1969.

MUEHE, D. Geografia Marinha: A retomada do espaço perdido. **Revista da Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Geografia** (Anpege), 18, 2016. DOI: 10.5418/RA2016.1218.0010 185

OBREGÓN, G.; MARENGO, J.A.; **Caracterização do clima do Século XX no Brasil**: Tendências de chuvas e temperaturas médias e extremas. Relatório 2, Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas, Diretoria de Conservação da Biodiversidade. Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade. Sub projeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI. Brasília, 2007.

REBOITA, M.S.; AMBRIZZI, T.; SILVA, B.A.; PINHEIRO, R.F.; ROCHA, R.P. The south Atlantic subtropical anticyclone: Present and future climate. **Frontiers in Earth Science**, v. 7, 2019. <https://doi.org/10.3389/feart.2019.00008>

REGOTO, P.; DERECHYNSKI, C.; CHOU, S.C.; BAZZANELA, A.C. Observed changes in air temperature and precipitation extremes over Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 41, n. 11, p. 5125-5142, 2021. <https://doi.org/10.1002/joc.7119>

SANTOS, A.L.M.; GONÇALVES, W.A.; ANDRADE, L.M.B.; RODRIGUES, D.T.; BATISTA, F.F.; LIMA, G.C.; SILVA, C.M.S. Space-time characterization of extreme precipitation indices for the semiarid region of Brazil. **Climate**, v. 12, n.3, 2024. <https://doi.org/10.3390/cli12030043>

SENEVIRATNE, S. I., NICHOLLS, N., EASTERLING, D. R., GOODESS, C. M., KANAE, S., KOSSIN, J., LUO, Y., MARENGO, J., MCINNES, K., RAHIMI, M., REICHSTEIN, M., SORTEBERG, A., VERA, C., AND ZHANG, X.: Changes in Climate Extremes and their

Impacts on the Natural Physical Environment, in: *Manag. Risks Extrem. Events Disasters to Adv. Clim. Chang. Adapt*, edited by: FIELD, C. B., BARROS, V., STOCK, T. F., QIN, D., DOKKEN, D. J., EBI, K. L., MASTRANDREA, M. D., MACH, K. J., PLATTNER, G.-K., ALLEN, S. K., TIGNOR, M., AND MIDGLEY, P. M., 109–230, Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 2012.

SILVA, M. B.; BULHOES, E. Aspectos relacionados às taxas de mobilidade da linha de costa no litoral brasileiro. **GeoUERJ**, v. 42, 2023 <https://doi.org/10.12957/geouerj.2023.74504>

SILVA, P.E.; SILVA, C.M.S; SPYRIDES, M.H.C.; ANDRADE, L.M.B. Análise de índices de extremos climáticos no Nordeste e Amazônia Brasileira para o período entre 1980 a 2013. **Anuário do Instituto de Geociências UFRJ**, v. 42, n.2, p. 137-148, 2019.

SKANSI, M.M.; BRUNET, M.; SIGRÓ, J.; AGUILAR, E.; GROENING, J.A.A.; BENTANCUR, O.J.; GEIER, Y.R.C.; AMAYA, R.L.C.; JÁCOME, H.; RAMOS, A.M.; ROJAS, C.O.; PASTEN, A.M.; MITRO, S.S.; JIMÉNEZ, C.V.; MARTÍNEZ, R.; ALEXANDER, L.V.; JONES, P.D. Warming and wetting signals emerging from analysis of changes on climate extreme índices over South America. **Global and Planetary Change**, v. 100, p. 295-307, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2012.11.004>

SOUZA, C.R.G.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA; A.M.S.; OLIVEIRA, P.E. **Quaternário do Brasil**. Editora Holos. 2005. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/326518956_Quaternario_do_Brasil_2Ed

TEBALDI, C.; HAYHOE, K.; ARBLASTER, J.; MEEHL, G. Going to the extremes: an intercomparison of model-simulated historical and future changes in extreme events. **Climatic Change**, 79, 2006. <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9051-4>

VINCENT, L.A.; PETERSON, C. BARROS, V.R.; MARINO, M.B.; RUSTICUCCI, M.; CARRASCO, G.; RAMIREZ, E.; ALVES, L.M.; AMBRIZZI, T.; BERLATO, M.A.; GRIMM, A.M.; MARENGO, J.A.; MOLION, L.; MONCUNILL, D.F.; REBELLO, E.; ANUNCIAÇÃO, Y.M.T; QUINTANA, J.; SANTOS, J.L.; BAEZ, J.; CORONEL, G.; GARCIA, J.; TREBEJO, I. BIDEGAIN, M.; HAYLOCK, M.R.; KAROLY, D. Observed trends in indices of daily temperature extremes in South America 1960-2000. **Journal of Climate**, v. 18, p. 5011-5023, 2005.

ZILLI, M.T.; CARVALHO, L.M.; LIEBMANN, B.; DIAS, M.A.S. A comprehensive analysis of trends in extreme precipitation over southeastern coast of Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 37, n. 5, p. 2269-2279, 2016. <https://doi.org/10.1002/joc.4840>

Recebido em: 10/07/2023.
Aprovado para publicação em: 20/09/2024.