Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology
OPEN ACCESS

ANÁLISE DE EXTREMOS DE TEMPERATURA NO SUL DO BRASIL

Analysis of temperature extremes in the South of Brazil

Analisis de temperaturas extremas en el Sur de Brasil

Rodrigo Lins da Rocha Júnior
Instituto de Ciências Atmosféricas/Universidade Federal de Alagoas (UFAL)
rodrigo.junior@icat.ufal.br

Fabrício Daniel dos Santos Silva
Instituto de Ciências Atmosféricas/Universidade Federal de Alagoas (UFAL)
fabricio.santos@icat.ufal.br

David Duarte Cavalcante Pinto
Instituto de Ciências Atmosféricas/Universidade Federal de Alagoas (UFAL)
david.duarte@icat.ufal.br

Rafaela Lisboa Costa
Instituto de Ciências Atmosféricas/Universidade Federal de Alagoas (UFAL)
rafaelalisboac@gmail.com

Heliofábio Barros Gomes
Instituto de Ciências Atmosféricas/Universidade Federal de Alagoas (UFAL)
heliofabio@icat.ufal.br

Dirceu Luís Herdies
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (INPE)
dirceu.herdies@inpe.br

Ismael Guidson Farias de Freitas
Universidade Federal de Campina Grande/Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas (UFCG)
ismael.freitas@icat.ufal.br

Thayna Silva Vila Nova
Universidade Federal de Campina Grande/Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas (UFCG)
vilanova2510@gmail.com

Resumo: Esta pesquisa analisa tendências de extremos climáticos de temperatura na região sul do Brasil (SB), baseada em oito índices, quatro absolutos (maiores e menores temperaturas máximas (TX) e mínimas (TN) anuais) e quatro em percentis (porcentagem de dias com TX e TN inferiores ao percentil 10, e de dias com Tmax e Tmin superiores ao percentil 90), calculados a partir de séries de dados observados em alta resolução espacial de 0.25°x0.25°, no período 1980-2016. O teste de Mann-Kendall (MK) foi usado para analisar a significância das tendências, em °C/década. Resultados mostraram aumento da intensidade e frequência de extremos no SB, com tendências negativas generalizadas dos extremos absolutos de TN, e positivas dos extremos absolutos de TX, podendo-se inferir desse resultado uma dilatação da amplitude térmica diária no período. Os extremos norte e sul do SB mostram tendência negativa no número de dias e noites frias, ao passo que a área central do SB mostra tendências positivas no número de dias e noites frias, e negativas no percentual de dias e noites quentes, com a exceção ocorrendo na periferia da região SB. No entanto, os resultados apresentados devem servir de alerta para o gerenciamento de uma das mais importantes atividades econômicas do SB, a agricultura, com especial atenção para culturas de inverno em relação ao aumento/diminuição do número de horas de frio.

Palavras-chave: CLIMDEX. Tendências. Análise regional e sub-regional.

Abstract: This research analyzes trends in climatic temperature extremes in southern Brazil (SB), based on eight indices, four absolute and four percentiles for maximum and minimum temperatures (TX and TN), calculated from observed data series of high spatial resolution (0.25°x0.25°) for the period of 1980-2016. The Mann-Kendall test (MK) was used to analyse the significance of trends, in °C/decade. The results showed an increase in the intensity and frequency of extremes in the SB, with overall negative trends being verified for the absolute extremes of TN and positive trends for the absolute extremes of TX, rendering safe to infer that a dilation of the daily temperature range took place in the period. The northern and southern border regions of the SB showed negative trends for the percentages of cold days and nights, whereas the central region of the SB exhibited positive trends for those variables and negative trends for the percentages of warm days and nights, with the opposite being observed for the peripheral region. However, the performed characterization of the behaviour of the aforementioned extreme indices should serve as a warning for agriculture management, as this is one of the most important economic activities in the SB. Special attention must be given to the winter crops, considering the increase/decrease in the number of chill hours.

Keywords: CLIMDEX. Trends. Regional and sub-regional analysis.

Resumen: Esta investigación analiza las tendencias climáticas extremas en la región sur de Brasil (SB), con base en ocho índices, cuatro absolutos y cuatro en percentiles para TX y TN, calculados a partir de series de datos observadas con alta resolución espacial de 0.25°x0.25°, en el período 1980-2013. Se utilizó la prueba de Mann-Kendall (MK) para analizar la significancia de las tendencias, en °C/década. Los resultados mostraron un aumento en la intensidad y frecuencia de los extremos en el SB, con tendencias negativas generalizadas de los extremos absolutos de TN, y tendencias positivas de los extremos absolutos de TX, pudiendo inferirse una dilatación de la amplitud térmica diaria en el período. Los extremos al norte y sur del SB muestran una tendencia negativa en el número de días y noches fríos, mientras que el área central del SB muestra tendencias positivas en el número de días y noches frías y tendencias negativas en el porcentaje de días y noches cálidas, con la excepción que ocurre en la periferia de la región SB. Sin embargo, los resultados presentados deben servir de advertencia para el manejo de una de las actividades económicas más importantes del SB, la agricultura, con especial atención a los cultivos de invierno en relación al aumento/disminución del número de horas frías.

Palabras clave: CLIMDEX. Tendencias. Análisis regional y subregional.

Submetido em: 14/06/2021
Aceito para publicação em: 05/01/2022
Publicado em: 04/03/2022

1. INTRODUÇÃO

A variabilidade climática recente tem despertado grande interesse da comunidade científica para investigar os aspectos ambientais e políticos decorrentes de cenários de possível aumento da temperatura global. De acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, em seu quinto relatório de avaliação (IPCC-AR5, 2014), a temperatura global pode subir em diferentes níveis, dependendo do tipo de cenário climático (Representative Concentration Pathway – RCP) que prevalecerá até o final do século 21. O cenário RCP2.6 pressupõe um aquecimento de 0,30°C a 1,70°C, que pode ser tão alto quanto 1,10°C a 2,60°C de acordo com RCP4.5, ou variando de 1,40°C a 3,10° (RCP6.0), e possivelmente atingindo cerca de 2,60°C a 4,80°C se o cenário mais dramático (RCP 8.5) se tornar realidade. Decorrente dessas elevações hipotéticas, espera-se um aumento concomitante na frequência e intensidade de eventos climáticos extremos (KITOH e ENDO, 2016; MARENGO *et al*., 2016; SCHOOF e ROBESON, 2016; ALEXANDER e ARBLASTER, 2017; MUKHERJEE *et al*., 2018). Por isso, são necessários estudos aprofundados que avaliem como a influência de possíveis mudanças climáticas nessas proporções impacta a sociedade em nível local.

Parte dos estudos realizados para detectar e quantificar mudanças no clima se concentrou em analisar a tendência dos valores médios de variáveis como temperatura e precipitação (ALEXANDER *et al*., 2006; HEIDINGER *et al.*, 2018). Porém, nem sempre os valores médios dessas variáveis são suficientes para caracterizar mudanças significativas que consigam gerar impactos negativos à sociedade. Tendo isto em vista, um time de experts do Climate Change Detection, Monitoring and Indices (ETCCDMI) padronizou um conjunto de 27 índices climáticos de extremos de temperatura e precipitação que funciona como ferramenta de análise de mudanças climáticas em todo mundo. Desde então, uma grande quantidade de pesquisas em nível global vem sendo conduzidas com o objetivo de analisar a mudança no padrão dos extremos climáticos utilizando os índices propostos pelo ETCCDMI (KOSTOPOULOU e JONES, 2005; VINCENT *et al.*, 2005; QI e WANG, 2012; GROTJHAN *et al.*, 2016; SALVADOR e BRITO, 2018; COSTA *et al.*, 2020).

O Sul do Brasil (SB) é uma das regiões mais importantes da América do Sul do ponto de vista econômico (MARENGO e CAMARGO, 2008). A região é altamente dependente da agricultura e contribui com mais de 50% da produção agrícola nacional, sendo susceptível e

exposta aos impactos negativos da ocorrência de extremos climáticos (REBOITA *et al.*, 2017a; REBOITA *et al.*, 2017b; CARDOSO *et al.*, 2020; GAN *et al.*, 2020; TEIXEIRA e PRIETO, 2020a; TEIXEIRA e PRIETO, 2020b; ARSEGO *et al.*, 2020). Alguns estudos de análises de tendência de variáveis climáticas médias ou extremos foram realizados para parte do SB ou abrangendo toda a região (VINCENT *et al*., 2005; MARENGO e CAMARGO, 2008; STRECK *et al.*, 2011; SALVIANO *et al.*, 2016). Porém, todos esses trabalhos se limitaram a algumas estações de superfície, não maximizando a quantidade de dados disponíveis.

Esta trabalho tem o objetivo de analisar a tendência de uma amostra de índices de extremos climáticos de temperatura do ETCCDMI no SB utilizando um conjunto de dados de grade em alta resolução espacial que utiliza o maior número de estações de superfície possível e técnicas robustas para estimar os pontos da grade que não possuem estações (DA ROCHA JÚNIOR *et al*., 2019; DA ROCHA JÚNIOR *et al*., 2020; XAVIER *et al*., 2016). Assim é possível uma análise mais detalhada da mudança dos padrões de extremos de temperatura no SB, relativo ao período 1980-2016.

2. METODOLOGIA

2.1. Dados e Área de Estudo

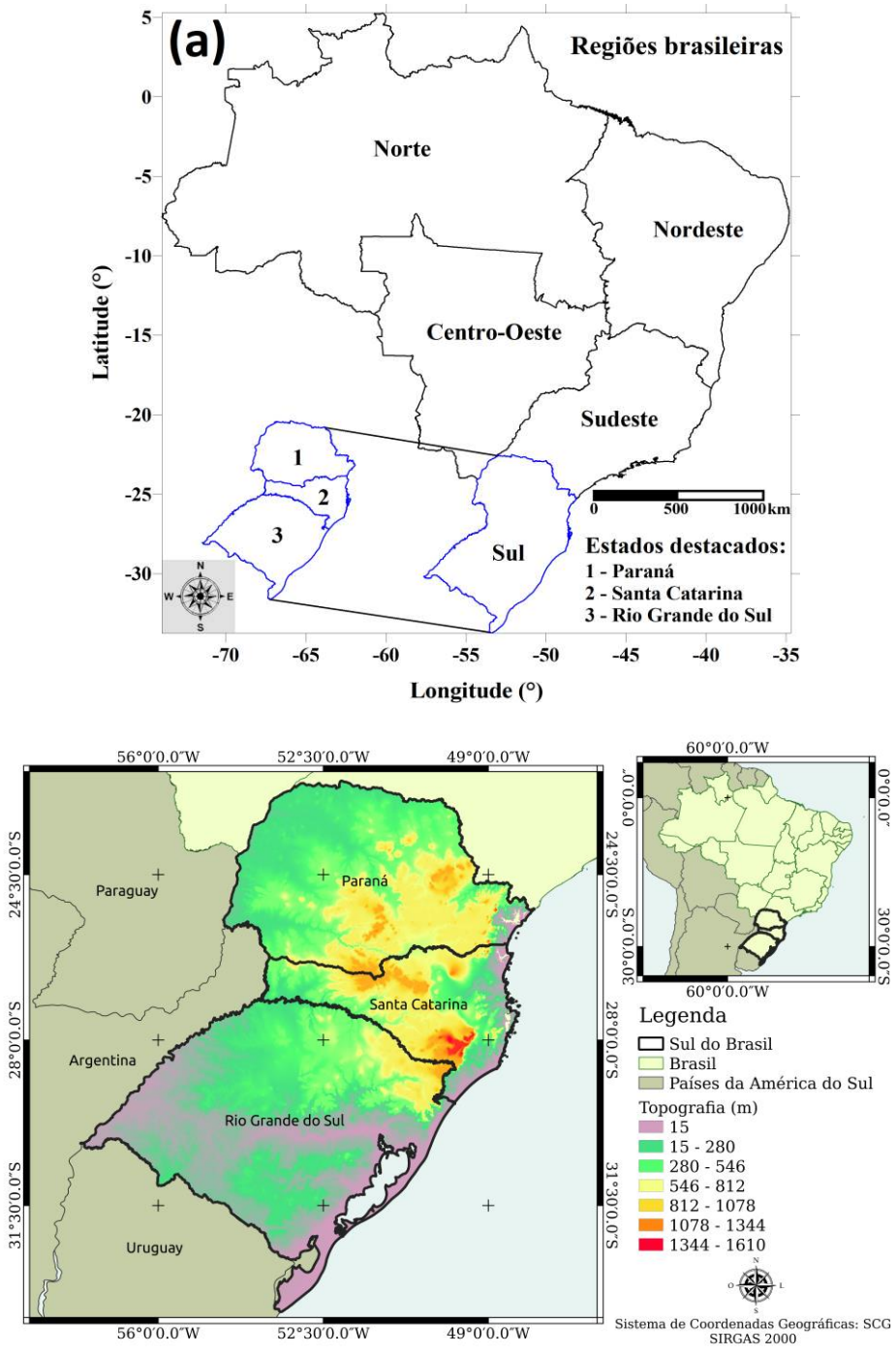
Foram utilizados dados de temperatura mínima (TN) e temperatura máxima (TX) provenientes de dados em grade gerado por Xavier *et al*. (2016), cobrindo todo o SB. Esta fonte de dados apresenta uma alta resolução espacial de 0,25°x0,25°, e vários métodos de interpolação foram utilizados. A base de dados cobre o período 1980-2016 a partir do maior número de estações de superfície do Brasil (https://utexas.box.com/Xavier-etal-IJOC-DATA). Os dados estão disponíveis em frequência diária, que posteriormente foram convertidos para a frequência sazonal e anual. Tais dados vem sendo amplamente empregados em estudos climáticos de diferentes regiões do Brasil (DA SILVA *et al*., 2019a; PAREDES-TREJO *et al*., 2019; DA SILVA *et al*., 2019b; DA ROCHA JÚNIOR *et al*., 2019; DOS REIS *et al*., 2020a; DOS REIS *et al*., 2020b).

Segundo Xavier *et al*. (2016), as séries temporais de cada ponto da grade foram construídas com base nos dados das estações convencionais e automáticas do INMET, com dois indicadores de qualidade para cada célula da grade: o número de estações incluídas

com dados e a distância geodésica da estação mais próxima com dados. Um rigoroso processo de controle de qualidade e homogeneidade foi aplicado a cada série temporal observada para excluir da análise séries com muitas inconsistências. Após esta etapa, diferentes metodologias de interpolação foram testadas, como o inverso da distância ao ponto (IDW), ponderação pela distância angular (ADW) e krigagem pontual ordinária (OPK). Após a construção da malha regular com resolução espacial de 0,25°x0,25° com cada método, os pontos relativos às séries observadas são extraídos novamente para comparação com os dados originais, e neste processo, verificou-se que para TX e TN, o método IDW foi o mais eficiente, com valores de correlação de 0,91 para ambas as variáveis.

Composto por três estados do País com área total de 576.774,31 km² (Figura 1a), o SB é a menor das cinco grandes regiões geográficas e estatísticas brasileiras, sendo um pouco menor que a França, mas possui a segunda maior população, com aproximadamente 11.433,957 habitantes no estado do Paraná, 7.164,788 em Santa Catarina e 11.377,239 no Rio Grande do Sul, segundo dados coletados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para o ano de 2018. É uma das mais influentes regiões economicamente do País, com atividades em múltiplos setores, como agricultura e pecuária, manufatura, extrativismo e um forte setor terciário, incluindo o turismo. A Figura 1b mostra a região com destaque para sua topografia, onde se observam grandes altitudes entre as serras do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, até o sudeste do Paraná.

Figura 1 – (a) Mapa do Brasil destacando o perímetro do SB em azul, com seus estados numerados de norte a sul e identificados nominalmente: (1) Paraná, (2) Santa Catarina, (3) Rio Grande do Sul, e (b) destacando o topografia da região.



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

2.2. Índices de Extremos

Os índices propostos pelo time de experts do ETCCDMI podem ser divididos em quatro tipos: 1) Índices Absolutos, 2) Índices por Limiares, 3) Índices de Duração e 4) Índices

Percentis. Dos 27 índices existentes, 8 índices referentes a temperatura do tipo 1 e 4 foram analisados. Um resumo dos 8 índices está na Tabela 1. Estes índices tem sido amplamente utilizados para análise de mudanças na ocorrência de extremos em escala regional e global (KRUGER *et al.*, 2013; SHEIKH *et al.*, 2015; ABATAN *et al.*, 2016, MCGREE *et al.*, 2019; COSTA *et al.*, 2020).

Tabela 1- Índices de extremos de temperatura proposto pelo ETCCDMI do tipo absoluto (TXx, TNx, TXn e TNn) e do tipo percentil (TN10p, TX10p, TN90P e TX90p)

Código	Nome indicador	Definição	Unidade
TXx	Máxima TX	Valor máximo anual da temperatura máxima diária	°C
TNx	Máxima TN	Valor máximo anual da temperatura mínima diária	°C
TXn	Mínima TX	Valor mínimo anual da temperatura máxima diária	°C
TNn	Mínima TN	Valor mínimo anual da temperatura mínima diária	°C
TN10p	Noites frias	Porcentagem de dias com Tmin < percentil 10	% de dias
TX10p	Dias frios	Porcentagem de dias com Tmax < percentil 10	% de dias
TN90p	Noites quentes	Porcentagem de dias com Tmin > percentil 90	% de dias
TX90p	Dias quentes	Porcentagem de dias com Tmax > percentil 90	% de dias

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

2.3. Teste de Mann-Kendall

O teste de MK (MANN, 1945; KENDALL, 1975) é um teste estatístico não paramétrico amplamente usado em climatologia e hidrologia para detecção de tendências (Z_{MK}) em séries temporais de variáveis ambientais. Oferece as vantagens de não exigir nenhum tipo de ajuste de normalidade dos dados e de ter uma baixa sensibilidade a mudanças abruptas na série. De acordo com as premissas do teste, a hipótese nula (H0) assume que não há tendência na série de dados em um determinado nível de significância, ou seja, que a série é independente e ordenada aleatoriamente. A hipótese alternativa (H1) assume que há uma tendência monotônica. Vários estudos relataram a eficácia do teste MK na identificação de tendências em variáveis climáticas nas últimas décadas, para inúmeras regiões do mundo, incluindo, especificamente, o Brasil (GOOSSENS e BERGER, 1986; YU *et al.*, 2002; BLAIN, 2010; MINUZZI e CARAMORI, 2011; KARMESHU,2012; PINHEIRO *et al.*, 2013; WU e QIAN,

2017; DA SILVA *et al.*, 2015; LACERDA *et al.*, 2015; DE OLIVEIRA et al, 2017; DOS REIS *et al.*, 2017; BEZERRA *et al.*, 2018; MUTTI *et al.*, 2019; COSTA *et al.*, 2020).

Seja as observações $x_1, x_2, ..., x_n$ de uma série temporal. Podemos aplicar o teste de MK para tendência (ZMK) somente se a série for serialmente independente. Então, queremos testar se as observações da série são independentes e identicamente distribuídas, isto é, queremos testar as hipóteses H0 (não há tendência pois as observações da série são independentes e espacialmente distribuídas) ou H1 (há tendência pois existe uma tendência monotônica no tempo das observações). Sob H0, a estatística de teste S é dada como em Modarres e Silva (2007):

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^{n} sgn(x_i - x_j) \quad (1)$$

onde *xi* é o valor sequencial dos dados, *n* é o tamanho da série temporal e *sgn(xi - xj)* = -1 se *(xi - xj)* < 0; *sgn(xi - xj)* = 0 se *(xi - xj)* = 0 ou *sgn(xi - xj)* = 1 se *(xi - xj)* > 0. A hipótese nula (H0) é que uma amostra de dados $\{X_t: t = 1, 2, ..., n_i\}$ é independente e identicamente distribuído. A esperança E[S] e variância V[S] da estatística S são obtidas por (2) e (3):

$$E[S] = 0 \quad (2)$$

$$Var[S] = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^{q} t_p(t_p-1)(2t_p+5)}{18} \quad (3)$$

em que n é o número de observações e, considerando o caso em que a série pode ter grupos com observações iguais, *P* é o número de grupos com observações iguais e t_p é o número de observações iguais no grupo *P*. Um distribuição normal da variável Z é construída como mostra as equações em (4):

$$Z = \begin{cases} \dfrac{S-1}{\sqrt{Var(S)}}, S > 0 \\ 0, S = 0 \\ \dfrac{S+1}{\sqrt{Var(S)}}, S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

Em um teste duplo para a tendência, a hipótese nula de não tendência é rejeitada se $|Z| > Z_{\alpha/2}$, onde α é o nível de significância. Dada a grande variabilidade dos dados, consideramos tendências estatisticamente significantes quando o p-valor for igual ou menor a 10%. Um alto valor positivo da estatística S indica um crescimento da tendência e um baixo

valor negativo de S indica uma diminuição da tendência. Mais detalhes sobre o teste de MK, recomenda-se a leitura de Wilks (2011).

3. DESENVOLVIMENTO

A Figura 2 exibe mapas dos índices absolutos TNn, TNx, TXn and TXx, que representam a tendência dos valores mais extremos de temperatura mínima e máxima já observados em um único dia do ano durante o período de análise. Os valores da escala são referentes a tendências decadais (°C/década).

A maior parte do SB apresenta tendências de redução dos valores extremos inferiores da TN (Figura 2a) indicando aumento da magnitude dos extremos de frio. Esse resultado é corroborado com a observação de tendências negativas de TXn (Figura 2c), que podem estar associados ao aumento na amplitude térmica diária. As tendências significantes observadas na maior parte da região em ambos os mapas são da ordem de -0.5 a -3°C/década. As mudanças mais pronunciadas estão no setor centro-leste, entre os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. No entanto, em uma área restrita ao extremo leste de Santa Catarina, se observa tendência positiva de TNn (Figura 2a).

Para os índices TNx e TXx, se observa tendências positivas (~ 1.5°C/década) na maior parte do SB, se concentrando principalmente nas extremidades da região para o TNx (Figura 2b) e em 90% do território do SB para o TXx (Figura 2d). No setor mais central do SB, mais especificamente nos estados de Santa Catarina e Paraná, observa-se mudanças significativas de diminuição da TNx (Figura 2b). Os resultados apontam para o aumento da intensidade dos extremos quentes para a maior parte do SB, exceto para uma extremidade do estado de Santa Catarina que apresenta tendências negativas em ambos os índices.

Tendências significativas na ocorrência de noites frias (TN10p – Figura 3a) e dias frios (TX10p – Figura 3c) são notadas principalmente nos extremos norte e sul do SB. A região mais setentrional apresenta tendências decrescentes para ambas as variáveis (Figuras 3a e 3c). Sua contraparte mais ao sul, por sua vez, apresenta tendências ascendentes para as mesmas variáveis. Tendências positivas também são observadas na porção central do SB – principalmente na divisa entre Santa Catarina e Rio Grande do Sul – sinalizando um aumento na incidência de dias e noites frias, enquanto tendências negativas são observadas na maior

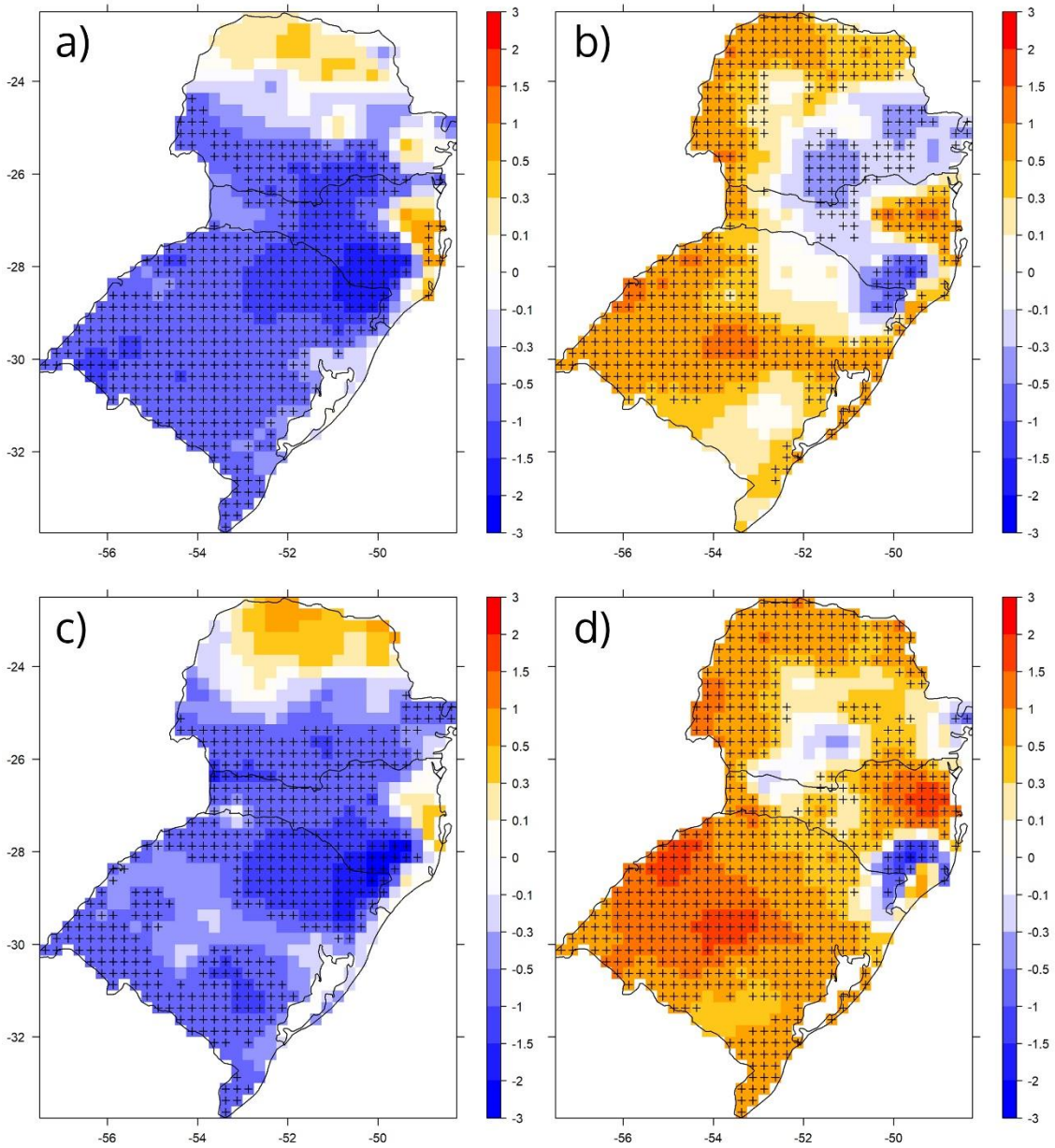
parte do litoral do SB para TX10p (Figura 3c) e, mais proeminentemente, para TN10p (Figura 3a). Esta última característica parece estar intimamente relacionada com a topografia desta área, onde se localizam as serras do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, com altitudes que ultrapassam 1500m em alguns pontos e que mantêm altitudes elevadas até o sudeste do Paraná, até a 1000m, como visto na Figura 1b.

Conforme observado anteriormente para TNx e TXx, as tendências ascendentes em relação ao percentual de noites e dias quentes (TN90p; TX90p) também apresentam um padrão periférico no SB (Figuras 3b e 3d, respectivamente). Tais mudanças nas bordas do SB variam de +2% a +10% no número de dias por década. Por outro lado, a parte central do SB apresenta tendência de queda para a mesma variável, com variação de -1% a -10% no número de dias por década, com maior destaque para uma área no sul de Santa Catarina. Este é um resultado muito relevante, pois mostra uma dinâmica específica nas tendências observadas das áreas elevadas do interior do SB, com aumento percentual no número de noites frias (TN10p) e noites quentes (TN90p), enquanto há um decréscimo da porcentagem de dias frios (TX10p) e dias quentes (TX90p). Esta combinação mostra que, de facto, tem havido dois tipos de combinações mais frequentes nas zonas de montanha: dias menos quentes com noites mais frias e dias menos frios com noites mais quentes. Essas combinações favorecem o aumento das amplitudes térmicas diárias.

Silva et al. (2015) encontrou tendências positivas e significativas para quase todo o estado do Paraná analisando os índices TN90p e TX90p calculados a partir séries de estações de superfície. Os resultados do autor são coerentes com as Figuras 2b e 2d. Marengo e Camargo (2008) reportaram tendências fortes de aumento da TN no verão para o SB no período 1960-2002. Os autores também analisaram índices de extremos e encontraram tendências de aumento de dias quentes no período do verão e inverno, coincidindo com o resultado da Figura 2d. Resultados semelhantes são encontrados também em Vincent *et al.* (2005), que mostrou tendências negativas de valores extremos de TN semelhantes a Figura 2a e 2c. Streck *et al.* (2011) observou que as tendências de TN e TX, bem como da amplitude térmica da cidade de Santa Maria no Rio Grande do Sul respondem a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP). O autor observou que durante a fase fria da ODP há decréscimo da TX e TN, enquanto na fase quente há aumento das duas variáveis. O período de análise deste estudo abrangeu parte das duas fases da ODP, a fase quente (1980-1998) e a fase fria (1999-2013).

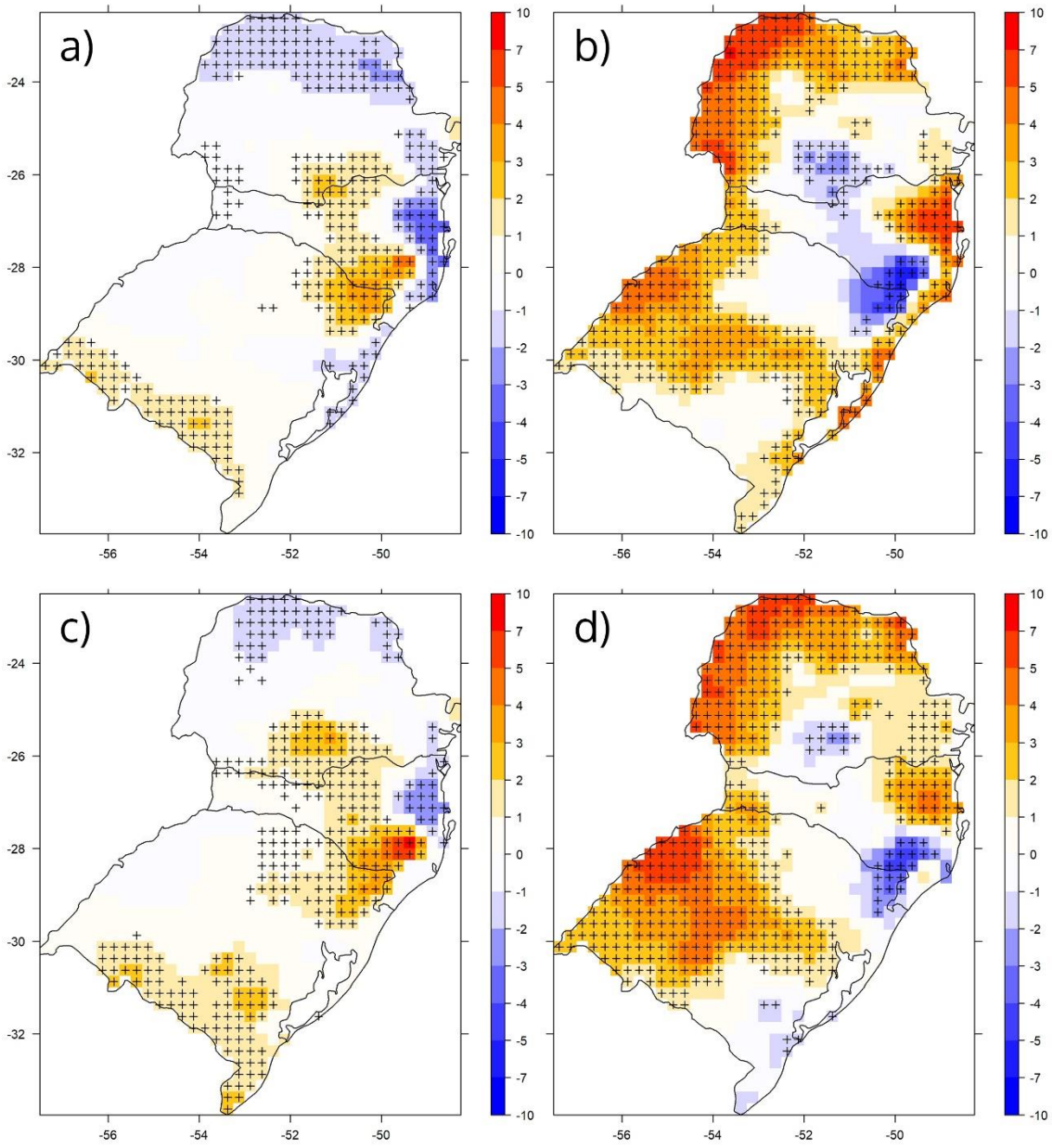
Skansi *et al.* (2013) analisaram tendências de índices de extremos para toda a América do Sul, mas suas análises no sul do País estiveram restritas a apenas três estações meteorológicas. Os autores encontraram, para os índices de percentis de temperatura, tendências estatisticamente significativas de aumento dos índices TN90p e TX90p, e de diminuição dos índices TN10p e TX10p. Os autores encontraram ainda para o sul do Brasil tendências de aumento para os índices TNn e TXn, de 0,5 a 1,5°C/década, relativo ao período 1969/2009.

Figura 2 - Valores encontrados para os índices extremos absolutos a) TNn, b) TNx, c) TXn e d) TXx. Cruzes escuras no mapa indicam significância estatística ao nível de 10%.



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Figura 3 - Valores encontrados para os índices extremos percentuais a) TN10p, b) TN90p, c) TX10p e d) TX90p. Cruzes escuras no mapa indicam significância estatística ao nível de 10%.



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

4. CONCLUSÕES

Este trabalho analisou a tendência de índices de extremos de temperatura do ETCCDMI para a região Sul do Brasil entre 1980-2016, utilizando dados em grade de alta resolução desenvolvido com uma grande quantidade de estações de superfície que cobrem um período de observação relativamente longo para estudos de clima.

Os resultados mostram significante aumento da intensidade e da frequência dos extremos de temperatura no Sul do Brasil. Há tendências de diminuição generalizada dos índices TNn e TNx, ao passo que se observa maior predominância de tendências positivas de TXn e TXx. A exceção está na porção central da região que exibe tendências negativas para TNx e na porção sudeste do estado de Santa Catarina para TXx, que também apresenta tendências negativas. As extremidades norte e sul do SB apresentam tendências de diminuição e aumento de dias e noites frias, respectivamente. A porção central do SB apresenta tendências positivas de aumento dos dias e noites frias. Por outro lado, a porção central exibe tendências negativas de TN90p e TX90p. Ainda para esses índices, quase toda a periferia do SB mostra tendências de aumento dos dias e noites quentes.

É indicado uma análise de ponto de mudança nas séries para identificar se as tendências são contínuas ou não. Havendo continuidade, reforçaria a tese de uma mudança a longo prazo do clima da região causado por ação antropogênica ou um fenômeno de maior escala temporal. Havendo descontinuidade em torno do ano de 1999, reforçaria a tese de que as tendências foram provocadas pela atuação da ODP.

REFERENCIAS

ABATAN, A. A. et al. Trends in extreme temperature over Nigeria from percentile-based threshold indices. **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 6, p. 2527-2540, 2016.

ALEXANDER, L. V. et al. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. **Journal of Geophysical Research**, v. 111, D05109, 2006.

ALEXANDER, L. V.; ARBLASTERC, J. M. Historical and projected trends in temperature and precipitation extremes in Australia in observations and CMIP5. **Weather and Climate Extremes**, v. 15, p. 34-56, 2017.

ARSEGO, D. A. et al. Índices Climáticos Associados a Variabilidade Interanual da Produtividade de Arroz no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. 2, p. 209-218, 2020.

BEZERRA, B. G. et al. Changes of precipitation extremes indices in São Francisco River Basin, Brazil from 1947 to 2012. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 135, p. 565-576, 2018.

BLAIN, G. C. Séries anuais de temperatura máxima média do ar no estado de São Paulo: Variações e tendências climáticas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 1, p. 114-124, 2010.

CARDOSO, C. S.; QUADRO, M. F. L.; BONETTI, C. Persistência e Abrangência dos Eventos Extremos de Precipitação no Sul do Brasil: Variabilidade Espacial e Padrões Atmosféricos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. 2, p. 219-231, 2020.

COSTA, R. L. et al. Analysis of climate extremes indices over northeast Brazil from 1961 to 2014. **Weather and Climate Extremes**, v. 28, p. 100254, 2020.

DA ROCHA JÚNIOR, R. L. et al. Analysis of the Space-Temporal Trends of Wet Conditions in the Different Rainy Seasons of Brazilian Northeast by Quantile Regression and Bootstrap Test. **Geosciences**, v. 9, p. 457, 2019.

DA ROCHA JÚNIOR, R. L. et al. Mudança de Longo Prazo e Regionalização da Evapotranspiração de Referência no Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, p. 891-902, 2020.

DA SILVA, R. M. et al. Rainfall and river flow trends using Mann –Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in the Cobres River basin. **Natural Hazards**, v. 77, p. 1205-1221, 2015.

DA SILVA, P. E. et al. Análise de Índices de Extremos Climáticos no Nordeste e Amazônia Brasileira para o Período entre 1980 a 2013. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 42, n. 2, p. 137-148, 2019a.

DA SILVA, P. E. et al. Precipitation and air temperature extremes in the Amazon and northeast Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 39, n. 2, p. 579-595, 2019b.

DE OLIVEIRA, P. T.; SANTOS E SILVA, C. M.; LIMA, K. C. Climatology and trend analysis of extreme precipitation in subregions of Northeast Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 130, p. 77-90, 2017.

DOS REIS, L. C. et al. Climate Trends in Bom Jesus, soybean production region in Piauí. **Revista Geama**, v. 3, n. 4, p. 196-200, 2017.

DOS REIS, L. C. et al. Caracterização da variabilidade da precipitação no MATOPIBA, região produtora de soja. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 4, p. 1425-1441, 2020a.

DOS REIS, L. C. et al. Analysis of Climate Extreme Indices in the MATOPIBA Region, Brazil. **Pure and Applied Geophysics**, 2020b. https://doi.org/10.1007/s00024-020-02474-4.

GAN, M. A. et al. Ciclones em Superfície nas Latitudes Austrais. Parte III: Energética. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. 2, p. 281-300, 2020.

GOOSSENS, C.; BERGER, A. Annual and seasonal climatic variations over the northern hemisphere and Europe during the last century. **Annales Geophysicae**, v. 4 (B-4), p. 385-400, 1986.

GROTJAHN, R. et al. North American extreme temperature events and related large-scale meteorological patterns: a review of statistical methods, dynamics, modeling, and trends. **Climate Dynamics**, v. 46, p. 1151-1184, 2016.

HEIDINGER, H. et al. A new assessment in total and extreme rainfall trends over central and southern Peruvian Andes during 1965–2010. **International Journal of Climatology**, v. 38, n. 51, p. 998-1015, 2018.

KARMESHU. N. **Trend Detectionin Annual Temperature & Precipitation using the Mann Kendall Test - A Case Study to Assess Climate Change on Select States in the Northeastern United States**. Master of Environmental Studies Capstone Projects. University of Pennsylvania. Department of Earth and Environmental Science, 2012.

KENDALL, M. G. **Rank Correlation Methods**. Charles Griffin, London, 1975.

KITOH, A.; ENDO, H. Changes in precipitation extremes projected by a 20-km mesh global atmospheric model. **Weather and Climate Extremes**, v. 11, p. 41-52, 2016.

KOSTOPOULOU, E.; JONES, P. D. Assessment of climate extremes in the Eastern Mediterranean. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v. 89, n. 1-4, p. 69-85, 2005.

KRUGER, A. C.; SEKELE, S. S. Trends in extreme temperature indices in South Africa: 1962–2009. **International Journal of Climatology**, v. 33, n. 3, p. 661-676, 2013.

LACERDA, F. F. et al. Long-term temperature and rainfall trends over Northeast Brazil and Cape Verde. **Journal of Earth Science and Climatic Change**, v. 6, n. 8, p. 1-8, 2015.

MANN, H. B. Nonparametric tests against trend. **Econometrica**, v. 13, n. 3, p. 245-259, 1945.

MARENGO, J. A.; CAMARGO, C. C. Surface air temperature trends in Southern Brazil for 1960–2002. **International Journal of Climatology**, v. 28, n. 7, p. 893-904, 2008.

MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in Northeast Brazil-past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 129, p. 1189-1200, 2016.

MCGREE, S. et al. Recent Changes in Mean and Extreme Temperature and Precipitation in the Western Pacific Islands. **Journal of Climate**, v. 32, n. 16, p. 4919-4941, 2019.

MINUZZI, R. B.; CARAMORI, P. H. Variabilidade climática sazonal e anual da chuva e veranicos no Estado do Paraná. **Revista Ceres**, v. 58, n. 5, p. 593-602, 2011.

MODARRES, R.; DA SILVA, V. P. R. Rainfall trends in arid and semiarid regions of Iran. **Journal of Arid Environments**, v. 70, p. 344-355, 2007.

MUKHERJEE, S. et al. Increase in extreme precipitation events under anthropogenic warming in India. **Weather and Climate Extremes**, v. 20, p. 45-53, 2018.

MUTTI, P. R. et al. A detailed framework for the characterization of rainfall climatology in semiarid watersheds. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 139, p. 109-125, 2019.

PAREDES-TREJO, F.; BARBOSA, H.; DOS SANTOS, C. A. C. Evaluation of the Performance of SM2RAIN-Derived Rainfall Products over Brazil. **Remote Sensing**, v. 11, p. 1113, 2019.

PINHEIRO, A.; GRACIANO, R. L. G.; SEVERO, D. L. Tendência das séries temporais de precipitação da região Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 3, p. 281-290, 2013.

QI, L.; WANG, Y. Changes in the observed trends in extreme temperatures over China around 1990. **Journal of Climate**, v. 25, n. 15, p. 5208-5222, 2012.

REBOITA, M. S. et al. Ciclones em Superfície nas Latitudes Austrais: Parte I - Revisão Bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 2, p. 171-186, 2017a.

REBOITA, M. S. et al. Ciclones em Superfície nas Latitudes Austrais: Parte II Estudo de Casos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 4, p. 509-542, 2017b.

SALVADOR, M. A.; BRITO, J. I. B. Trend of annual temperature and frequency of extreme events in the MATOPIBA region of Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 133, p. 253-261, 2018.

SALVIANO, M. F.; GROPPO, J. D.; PELLEGRINO, G. Q. Análise de Tendências em Dados de Precipitação e Temperatura no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 1, p. 64-73, 2016.

SCHOOF, J. T.; ROBESON, S. M. Projecting changes in regional temperature and precipitation extremes in the United States. **Weather and Climate Extremes**, v. 11, p. 28-40, 2016.

SHEIKH, M. M. et al. Trends in extreme daily rainfall and temperature indices over South Asia. **International Journal of Climatology**, v. 35, p. 1625-1637, 2015.

SILVA, W. L. et al. Tendências observadas em indicadores de extremos climáticos de temperatura e precipitação no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 2, p. 181-194, 2015.

SKANSI, M. et al. Warming and wetting signals emerging from analysis of changes in climate extreme indices over South America. **Global and Planetary Change**, v. 100, p. 295-307, 2013.

STRECK, N. A. et al. Variabilidade interdecadal na série secular de temperatura do ar em Santa Maria, RS. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 8, p.781-790, 2011.

TEIXEIRA, M. S.; PRIETO, R. B. Eventos Extremos de Chuva no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil, entre 2004 e 2013. Parte 1: Definição dos Eventos e Estatísticas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. 1, p. 45-52, 2020a.

TEIXEIRA, M. S.; PRIETO, R. B. Eventos Extremos de Chuva no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil, entre 2004 e 2013. Parte 2: Características Sinóticas dos Eventos Persistentes. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. 1, p. 53-61, 2020b.

VINCENT, L. A. et al. Observed trends in indices of daily temperature extremes in South America 1960-2000. **Journal of Climate**, v. 18, p. 5011-5023, 2005.

WILKS, D. S. **Statistical Methods in The Atmospheric Sciences**, 3rd ed, Academic Press: Cambridge, MA, USA, 2011.

WU, H.; QIAN, H. Innovative trend analysis of annual and seasonal rainfall and extreme values in Shaanxi, China, since the 1950s. **International Journal of Climatology**, v. 37, p. 2582-2592, 2017.

XAVIER, A. C.; KING, C. W.; SCANLON, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980-2013). **International Journal of Climatology**, v. 36, p. 2644-2659, 2016.

YU, P. S.; TAO, T. C.; CHOU, C. C. Effects of climate change on evapotranspiration from paddy fields in Southern Taiwan. **Climatic Change**, v. 54, p. 165-179, 2002.