

Tendências e variabilidades climáticas em regiões com diferentes classes de uso e cobertura do solo no Rio Grande do Sul

Climate trends and variabilities in regions with different classes of use and land cover in Rio Grande do Sul

Tendencias y variabilidades del clima en regiones con distintas clases de uso y cobertura del suelo en Rio Grande do Sul

Carlos Vinicius Frota de Oliveira Silva

Agrônomo pela Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC/Campus Florianópolis.
vinifos@gmail.com / <http://orcid.org/0009-0005-9932-8050>

Rosandro Boligon Minuzzi

Doutor em Meteorologia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa – UFV. Professor da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC/Campus Florianópolis.
rbminuzzi@hotmail.com / <http://orcid.org/0000-0001-7148-7707>

Recebido: 17/11/2022; Aceito: 20/03/2025; Publicado: 24/03/2025.

Resumo

Este estudo objetiva analisar a tendência climática da chuva, da temperatura do ar e da variabilidade de eventos de seca em quatro regiões do Rio Grande do Sul. Foram utilizados dados mensais de temperatura e chuva de 1970 e 2020. A análise de dados foi feita em relação aos meses de seca distribuídos na escala temporal decadal. O teste de Mann-Kendall foi usado para avaliar a tendência mensal e anual de temperatura e da chuva, enquanto os eventos de seca foram analisados pela frequência. As características de seca estudadas foram: o número de meses e eventos secos, a maior quantidade de meses de seca seguidos (duração máxima), a média de meses de seca (duração média) e sua intensidade máxima. Com a tendência de aumento das temperaturas e a maior frequência de eventos de seca, mais longos e de maior intensidade, associados com a quase inexistência de tendências na chuva, pressupõe-se que o mesoclima destas regiões está tendendo para um ambiente mais quente, seco e de chuvas irregulares.

Palavras-chave: Seca; Temperatura do ar; Chuva; Mesoclima.

Abstract

This study aims analyse the climatic trend of rainfall, air temperature and the variability of drought events in four regions of Rio Grande do Sul. Monthly temperature and rainfall data from 1970 and 2020 were used. Data analysis was performed in relation to the drought months distributed on the decadal scale. The Mann-Kendall test was used to assess the monthly trend of temperature and rainfall, while drought events were analyzed by frequency. The drought characteristics studied were: the number of months and dry events, the greatest number of consecutive drought months (maximum duration), the average of drought months (average duration) and its maximum intensity. With the trend of increasing temperatures and the greater frequency of longer and more intense drought events, associated with the almost non-existence of monthly trends in rainfall, it is assumed that the mesocli-

mate of these regions is changing, tending towards a warmer, drier environment with irregular rainfall in the temporal and spatial scales.

Keywords: Drought; Air temperature; Rainfall; Mesoclimate.

Resumen

Este estudio tiene como objetivo analizar la tendencia climática de las precipitaciones, la temperatura del aire y la variabilidad de los eventos de sequía en cuatro regiones de Rio Grande do Sul. Se utilizaron datos mensuales de temperatura y precipitación pluvial de 1970 y 2020. El análisis de los datos se realizó en relación con los meses secos distribuidos en una escala de tiempo decenal. Se utilizó la prueba de Mann-Kendall para evaluar las tendencias mensuales y anuales de temperatura y lluvia, mientras que los eventos de sequía se analizaron por frecuencia. Las características de sequía estudiadas fueron: el número de meses y eventos secos, el mayor número de meses consecutivos de sequía (duración máxima), el promedio de meses de sequía (duración promedio) y su máxima intensidad. Con la tendencia al aumento de las temperaturas y la mayor frecuencia de eventos de sequía más prolongados e intensos, asociados a la casi inexistencia de tendencias en las precipitaciones, se supone que el mesoclima de estas regiones tiende hacia un ambiente más cálido, seco y con precipitaciones irregulares.

Palabras clave: Seco; Temperatura del aire; Lluvia; Mesoclima.

Introdução

Os registros de mudanças climáticas globais e, em particular, os regionais, atestam que em periodicidades de anos a séculos, o clima foi sistematicamente variável. Na escala regional essas mudanças são muito divergentes, mas nem sempre acompanham a tendência global, principalmente em referência à temperatura, como apresentado por Bonsal *et al.* (2001), que analisaram a variabilidade espacial e temporal das temperaturas extremas no Canadá para o período de 1950-1998 e encontraram grandes diferenças na escala regional e sazonal.

Estudos no contexto de variabilidade climática são de extrema importância para a sociedade, economia e ambiente, pois permitem caracterizar tendências de curto (variabilidade sazonal e interanual) e longo prazo (mudanças climáticas). Comparando estas tendências entre diferentes regiões, pode-se descrever os padrões climáticos espaço-temporal de um território (Andriucci; Sant'Anna Neto, 2006).

Referente ao clima do Rio Grande do Sul, Rossato (2011) destaca que a temperatura média anual no Estado varia entre 17°C e 20°C. A temperatura média do mês mais frio oscila entre 11°C e 14°C, sendo que na faixa leste este valor aumenta para 14°C a 17°C.

Analisando os principais sistemas sinóticos atuantes no Estado, Khan e Kim (1998) explicam que o clima é controlado pelo avanço das massas de ar polares (direção principal sudoeste-nordeste), ao mesmo tempo em que, acontece a inserção de massas de ar

subtropicais, até mesmo equatoriais, oriundas do canal de umidade da Amazônia (direção principal noroeste-sudeste). Grimm (2009) acrescenta que, no Rio Grande do Sul, apesar de a chuva ser bem distribuída durante todo o ano, os máximos ocorrem em diferentes épocas, como no sudeste em que este limiar observa-se no inverno, resultante de incursões frontais associadas a ciclones extratropicais migratórios. Nessa região, a ciclogênese é mais ativa nessa época do ano. Quanto à temperatura do ar, a pesquisadora destaca que além da diferença da radiação solar, as grandes amplitudes térmicas no decorrer do ano no estado devem-se a forte influência do relevo.

Miller (1982 *apud* Torres e Machado, 2011) destaca que o clima é o principal determinante na vegetação, mas esta, também age poderosamente sobre o clima. Como exemplo, cita que a influência das matas na temperatura do ar, especialmente nas máximas, que são mais moderadas em virtude da sombra que proporcionam, do calor que absorvem e da evaporação da água que transpiram. Wollmann e Galvani (2012), ao realizarem uma revisão das principais pesquisas do século XX, relacionadas ao clima do Rio Grande do Sul, concluíram que o relevo e a geomorfologia consistem nos principais fatores geográficos de individualização de climas sub-regionais, onde o clima do Estado possui sazonalidade térmica, mas não pluviométrica.

Ante a influência de fatores geográficos, Mendonça e Danni-Oliveira (2011) ressaltam o papel da vegetação e das atividades humanas na definição dos tipos climáticos, pois a interação destes com o balanço de radiação e a atmosfera dá origem a particularidades climáticas regionais.

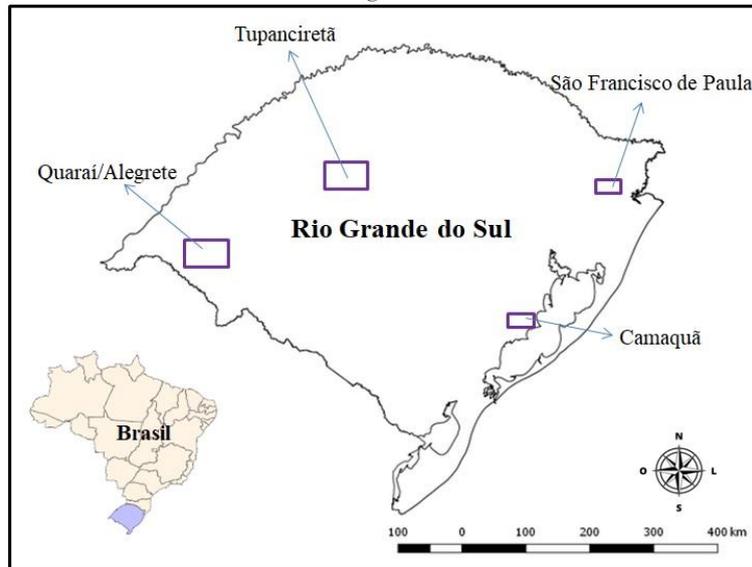
Diante do exposto, este estudo teve como objetivo avaliar a tendência e variabilidade climática da precipitação, temperatura do ar e de eventos de seca em regiões do Rio Grande do Sul com diferentes coberturas e uso da terra.

Material e métodos

Foram usados dados mensais de precipitação, temperatura mínima e máxima do ar do período de 1970 a 2020 da base de dados do TerraClimate (<https://app.climateengine.org/>). O TerraClimate (Abatzoglou *et al.*, 2018) é uma base de dados mensal de variáveis climáticas e componentes do balanço hídrico do solo de toda superfície terrestre do globo, com uma resolução espacial de aproximadamente 4 km. O download dos dados pode ser pontual ou pela delimitação de um polígono, o qual foi o adotado neste estudo, em quatro regiões do Rio Grande do Sul (Figura 1), com diferentes coberturas e uso do solo entre si, conforme o Banco de Dados de informações Ambientais

(BDiA) do IBGE (<https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/vegetação>). O TerraClimate usa interpolação que combina normais climatológicas de alta resolução espacial da WorldClim com outras fontes de dados observados como o CRU Ts4.0 (Climate Research Unit, base de dados versão 4.0) e da JRA-55 (Japanese 55-year Reanalysis).

Figura 1 - Mapa do Rio Grande do Sul indicando as regiões (polígonos) donde foram obtidos os dados meteorológicos mensais.



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

O Quadro 1 especifica algumas informações de cada uma das áreas analisadas, como o tipo de cobertura e/ou uso da terra, o município ao qual estão localizadas e as dimensões donde foram delimitados os polígonos de acesso aos dados pelo Terraclimate.

Quadro 1 - Dimensões, tipo de cobertura e, ou, uso de solo e município(s), o qual abrange a delimitação dos polígonos para obtenção dos dados meteorológicos.

Dimensões	Tipo de vegetação e/ou uso de solo	Município(s)
20km x 15km	Estepe, gramíneo lenhosa com floresta de galeria.	São Francisco de Paula
60km x 40km	Savana, estepe gramíneo lenhosa (Campanha).	Quaraí e Alegrete
20km x 15km	Vegetação com influência fluvial e/ou lacustre	Camaquã
60km x 40km	Agropecuária (gramíneo lenhosa (campestre) com floresta de galeria)	Tupanciretã

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

O teste de Mann-Kendall proposto por Mann (1945) e Kendall (1975) foi utilizado para avaliar a presença de tendência através do valor Z (Equação 1).

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

sendo, S, obtida pela soma de todas as contagens do número de vezes em que o valor da série temporal é menor que os valores restantes e Var(S) a variância. Um valor positivo do coeficiente de Mann-Kendall indica tendência de aumento da variável, enquanto um valor negativo aponta tendência de decréscimo, desde que significativo ao nível de 10% ou 5% pelo valor-p. O software Past 4.1 foi utilizado para a aplicação do teste de Mann-Kendall.

A tendência foi analisada mensalmente para a precipitação, a temperatura média, mínima e máxima do ar e, de forma contínua (mês a mês), na diferença entre precipitação e evapotranspiração de referência (P-ET_o). A evapotranspiração de referência (ET_o) foi estimada usando o método apresentado por Thornthwaite (1948) (Equação 2).

$$ET_o = 16 * \left(\frac{10 * T_n}{I} \right)^a \quad \text{para } 0^\circ\text{C} \leq T_n < 26,5^\circ\text{C} \quad (2)$$

sendo, T_n, a temperatura média do mês n (°C); e I, um índice que expressa o nível de calor disponível na região, sendo obtido pela Equação 3.

$$I = \sum_{n=1}^{12} (0,2 * T_n)^{1,514} \quad (3)$$

O expoente 'a', sendo função de I, também é um índice térmico regional e é calculado por uma função polinomial (Equação 4).

$$a = 6,75 * 10^{-7} * I^3 - 771 * 10^{-5} I^2 + 1,7912 * 10^{-2} I + 0,49239 \quad (4)$$

O valor de ET_o obtido, por definição, representa o total mensal de evapotranspiração que ocorreria naquelas condições térmicas, mas para um mês padrão de 30 dias, em que cada dia teria um fotoperíodo de 12 horas. Portanto, para se obter a ET_o do mês correspondente, esse valor de ET_o foi corrigido em função do número real de dias e do fotoperíodo do mês, conforme Equação 5.

$$ET_{o\text{corrigido}} = ET_o * \left(\frac{ND}{30} \right) \left(\frac{N}{12} \right) \quad (5)$$

sendo, ND o número de dias do mês em questão, e N, é o fotoperíodo do 15º dia, como

sendo representativo do referido mês.

Ademais, o índice Ped (Pedey, 1975) foi usado para identificar um mês ‘seco’ ($Ped \geq 1$) e, desta forma, realizar uma análise decadal quanto ao número de meses e eventos secos, a intensidade máxima, a duração média e a duração máxima de eventos secos. O índice Ped é obtido pela Equação 6.

$$Ped = \frac{t - \bar{t}}{\sigma_t} - \frac{P - \bar{P}}{\sigma_P} \quad (6)$$

em que:

P é a precipitação do período;

\bar{P} é a média climática da precipitação do período;

σ_P é o desvio padrão da precipitação do período;

t é a temperatura do ar do período;

\bar{t} é a média climática da temperatura do período; e

σ_t é o desvio padrão da temperatura do período.

Valores negativos de Ped significa período úmido. Uma seca insignificante deve ocorrer quando Ped estiver entre 1 e 2; seca moderada entre 2 e 3 e Ped acima de 3, indica uma seca severa.

A duração das secas foi definida como o período contínuo em que o índice Ped atinge ou fica acima de 1, terminando ao retornar a um valor inferior a esse limiar. A intensidade corresponde ao valor que o índice assume para cada mês do evento de seca, dessa forma a intensidade máxima é o maior valor que o índice Ped assume durante um evento.

Resultados e discussão

As informações constantes na Tabela 1 mostram que desde a década de 1970, a temperatura mínima apresenta uma tendência estatisticamente significativa de aumento, principalmente de outubro a janeiro, provavelmente refletindo na escala anual, ou seja, os períodos noturnos têm sido mais quentes em boa parte da primavera e verão no Rio Grande do Sul (RS). No comparativo entre as regiões, nos Pampas e nos Campos de Cima da serra gaúcha, representadas pelos municípios de Quaraí e São Francisco de Paula, houve o menor (3) e maior (7) número de meses com tendências de aumento, respectivamente. Quaraí está localizada na região de menor densidade demográfica do RS, enquanto São Francisco de Paula é vizinha à área de maior densidade do estado, que localiza-se no eixo

que liga Porto Alegre a Caxias do Sul (Atlas Socioeconômico do RS, 2020), isto é, de maior ocupação urbana. Chung e Yoon (2000) destacaram que na Coreia, entre 1974 a 1997, a temperatura média anual nos grandes centros urbanos aumentou em torno de 1,5°C, enquanto nas estações marinhas e localizadas na zona rural, os aumentos foram menores em torno de 0,58°C.

Tabela 1 - Coeficientes de Mann-Kendall para a temperatura mínima mensal e anual para o período de 1970 a 2020 nas regiões em estudo localizadas no Rio Grande do Sul.

	São Francisco de Paula	Quaraí	Camaquã	Tupanciretã
Janeiro	2,11 *	1,35 ^{ns}	2,28 *	2,13 *
Fevereiro	1,23 ^{ns}	2,14*	1,90 ^{ns}	1,66 ^{ns}
Março	1,48 ^{ns}	0,76 ^{ns}	1,17 ^{ns}	0,84 ^{ns}
Abril	2,86 **	1,95 ^{ns}	1,72 ^{ns}	2,11 *
Mai	1,75 ^{ns}	0,79 ^{ns}	1,23 ^{ns}	0,70 ^{ns}
Junho	2,04 *	1,45 ^{ns}	1,27 ^{ns}	1,55 ^{ns}
Julho	0,65 ^{ns}	-0,19 ^{ns}	-0,34 ^{ns}	-0,08 ^{ns}
Agosto	1,62 ^{ns}	1,45 ^{ns}	1,06 ^{ns}	1,61 ^{ns}
Setembro	2,55 *	1,88 ^{ns}	1,64 ^{ns}	2,11 *
Outubro	3,40 **	2,66*	2,70 *	3,42 **
Novembro	3,53 **	3,38**	3,66 **	3,74 **
Dezembro	3,85 **	1,85 ^{ns}	2,57 *	2,71 *
Anual	4,82 **	3,87**	4,07 **	4,34 **

^{ns}=não significativo; *=significativo a 5% (p<0,05); **=significativo a 1% (p<0,01)

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

A temperatura máxima também apresenta uma tendência estatisticamente significativa de aumento, principalmente em abril, agosto e novembro, refletindo na escala anual (Tabela 2), significando que, desde a década de 1970, os períodos vespertinos têm sido mais quentes nestes períodos do ano no Rio Grande do Sul. Brown, Caesar e Ferro (2008) também indicaram que os extremos diários de temperatura máxima e mínima do ar têm aumentado em grande parte das regiões do mundo desde 1950.

Tabela 2 - Coeficientes de Mann-Kendall para a temperatura máxima mensal e anual para o período de 1970 a 2020 nas regiões em estudo localizadas no Rio Grande do Sul

	São Francisco de Paula	Quaraí	Camaquã	Tupanciretã
Janeiro	2,31 *	1,08 ^{ns}	2,78 *	1,50 ^{ns}
Fevereiro	1,33 ^{ns}	1,18 ^{ns}	1,50 ^{ns}	1,19 ^{ns}
Março	1,51 ^{ns}	1,19 ^{ns}	1,36 ^{ns}	1,15 ^{ns}
Abril	2,53 *	2,03 *	2,10 *	2,14 *
Mai	0,06 ^{ns}	-0,32 ^{ns}	0,00 ^{ns}	-0,43 ^{ns}
Junho	0,71 ^{ns}	0,80 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,58 ^{ns}
Julho	-0,16 ^{ns}	-0,86 ^{ns}	-0,81 ^{ns}	-0,58 ^{ns}
Agosto	2,53 *	2,04 *	1,79 ^{ns}	2,28 *
Setembro	2,31 *	1,52 ^{ns}	0,66 ^{ns}	1,87 ^{ns}
Outubro	2,35 *	0,86 ^{ns}	1,72 ^{ns}	2,13 *
Novembro	2,11 *	2,12 *	2,75 *	2,62 *
Dezembro	1,82 ^{ns}	-0,29 ^{ns}	0,62 ^{ns}	0,65 ^{ns}
Anual	3,43 *	1,98 *	2,49 *	2,40 *

^{ns}=não significativo; *=^{ns}significativo a 5% ($p < 0,05$); **=^{ns}significativo a 1% ($p < 0,01$)

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Assim como observado para a temperatura mínima, as regiões de Quaraí e Camaquã apresentaram o menor número de meses com tendências significativas. A primeira está numa região que apresentou nas últimas décadas uma expansão urbana relativamente baixa, e o uso do solo voltado principalmente para a pecuária (Corrales, 2011) não alterou radicalmente a superfície, enquanto que a região de Camaquã tem a influência lacustre, que pode estar sendo o fator climático responsável por manter os extremos da temperatura do ar sem variações muito bruscas nas últimas décadas, devido ao elevado calor específico da água.

Predominantemente, pode-se afirmar que as tendências observadas para os extremos da temperatura do ar refletem na temperatura média, apresentando uma tendência estatisticamente significativa de aumento, principalmente durante a primavera, bem como, na escala anual (Tabela 3). Novamente em São Francisco de Paula e Camaquã, houve o maior e menor número de meses com tendências de aumento, respectivamente. Isto pode reforçar que, a proximidade de São Francisco de Paula com a área de maior densidade, faz com que o município tenha a maior quantidade de meses com aumento, assim como, na contrapartida, a área pertencente à Camaquã, pela sua proximidade com extensa superfície de água. Torres e Machado (2011) explicam que o efeito da maritimidade atenua as diferenças térmicas, homogeneizando as temperaturas costeiras.

Mais recentemente, Jin *et al.* (2021) encontraram que nas últimas três décadas na China, quase metade das estações usadas no estudo passaram por mudanças intensas no uso do solo, e as respostas climáticas exibiram diferentes, ou mesmo, sinais opostos em comparação com aquelas que passaram por mudanças na cobertura do solo. As estações “urbanizadas” geralmente exercem um efeito de aquecimento nas temperaturas locais, enquanto as áreas com expansão no cultivo agrícola tende a resultar num resfriamento.

Tabela 3 - Coeficientes de Mann-Kendall para a temperatura média mensal e anual para o período de 1970 a 2020 nas regiões em estudo localizadas no Rio Grande do Sul

	São Francisco de Paula	Quaraí	Camaquã	Tupanciretã
Janeiro	3,19 **	1,75 ^{ns}	3,09 ^{ns}	2,79 *
Fevereiro	1,57 ^{ns}	1,80 ^{ns}	1,93 ^{ns}	1,80 ^{ns}
Março	1,78 ^{ns}	0,67 ^{ns}	1,46 ^{ns}	1,17 ^{ns}
Abril	2,97 **	1,48 ^{ns}	2,08 ^{ns}	2,38 *
Mai	1,06 ^{ns}	-0,34 ^{ns}	0,84 ^{ns}	0,05 ^{ns}
Junho	1,72 ^{ns}	0,93 ^{ns}	1,20 ^{ns}	1,28 ^{ns}
Julho	0,23 ^{ns}	0,03 ^{ns}	-0,60 ^{ns}	-0,54 ^{ns}
Agosto	2,18 *	1,98 *	1,67 ^{ns}	1,92 ^{ns}
Setembro	2,68 *	2,61 *	1,41 ^{ns}	2,34 *

Outubro	3,52 **	2,68 *	2,84 **	3,56 **
Novembro	3,66 **	3,66 **	3,57 **	3,80 **
Dezembro	3,45 **	0,66 ns	1,91 ns	1,75 ns
Anual	4,74 **	3,74 **	3,99 **	4,23 **

ns=não significativo; *=significativo a 5% (p<0,05); **=significativo a 1% (p<0,01)

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Quanto ao total de chuva, houve tendências de forma esporádica e, apenas na região de Quaraí e de Camaquã (Tabela 4). Num comparativo com os resultados obtidos para as temperaturas do ar, visivelmente não há uma relação nas tendências climáticas entre essas variáveis, apesar de que estudos com esse propósito e com a inclusão de eventos extremos relacionados a temperatura do ar e a chuva, devem ser motivados a sua realização. No Paraná, Silva *et al.* (2015), analisando extremos climáticos, indicaram um padrão de aquecimento generalizado estatisticamente significativo em grande parte do estado. A porcentagem de dias e noites quentes aumentou consideravelmente a uma taxa de 0,1% a 0,4%/ano, entre 1976 e 2010. As médias anuais das temperaturas mínimas e máximas indicaram uma elevação em quase todo o Paraná em torno de +0,02°C/ano no mesmo período. Por outro lado, a maior parte dos indicadores de extremos climáticos associados à precipitação não apresenta significância estatística, com exceção de alguns poucos em distintas regiões do Estado, isto é, tendências térmicas e pluviométricas semelhantes ao obtido neste estudo para o Rio Grande do Sul.

Tabela 4 - Coeficientes de Mann-Kendall para a chuva mensal e anual para o período de 1970 a 2020 nas regiões em estudo localizadas no Rio Grande do Sul

	São Francisco de Paula	Quaraí	Camaquã	Tupanciretã
Janeiro	1,20 ns	-0,86 ns	-0,44 ns	0,25 ns
Fevereiro	-0,13 ns	-1,01 ns	-1,48 ns	-1,51 ns
Março	-1,58 ns	-0,99 ns	-0,29 ns	-0,37 ns
Abril	0,88 ns	0,49 ns	1,25 ns	1,01 ns
Mai	0,22 ns	-0,08 ns	-0,02 ns	-0,02 ns
Junho	-0,36 ns	-1,59 ns	-2,00 *	-1,00 ns
Julho	0,63 ns	-1,97 *	-0,55 ns	0,69 ns
Agosto	-1,38 ns	-1,17 ns	-1,20 ns	-1,36 ns
Setembro	1,71 ns	0,32 ns	-0,45 ns	0,85 ns
Outubro	1,95 ns	1,88 ns	2,81 *	0,83 ns
Novembro	-0,45 ns	-0,47 ns	-0,28 ns	-0,37 ns
Dezembro	-0,26 ns	0,75 ns	0,26 ns	0,55 ns
Anual	1,14 ns	-0,91 ns	-0,16 ns	-0,23 ns

ns=não significativo; *=significativo a 5% (p<0,05); **=significativo a 1% (p<0,01)

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Analisando a Tabela 5 pode-se observar que foram raras as tendências significativas na diferença entre precipitação e evapotranspiração (P-ET_o), sendo negativo em junho (Quaraí e Tupanciretã) e julho (Quaraí) e positivo em outubro (Tupanciretã e Camaquã). A

tendência negativa significa que a ETo pode ter aumentado mais que a chuva ou ela se manteve sem tendência, mas a chuva diminuiu. Comparando as tendências previamente apresentadas de temperatura do ar e de precipitação é mais coerente a segunda hipótese, isto é, que a ETo não se alterou em resposta a ausência de tendência da temperatura do ar, mas com redução na quantidade de chuva, ao menos no mês de julho em Quaraí.

Tabela 5 - Coeficientes de Mann-Kendall para a chuva menos evapotranspiração mensal e anual para o período de 1970 a 2020 nas regiões em estudo localizadas no Rio Grande do Sul.

	São Francisco de Paula	Quaraí	Camaquã	Tupanciretã
Janeiro	1,17 ^{ns}	-0,97 ^{ns}	0,08 ^{ns}	-0,59 ^{ns}
Fevereiro	-0,17 ^{ns}	-1,32 ^{ns}	-0,34 ^{ns}	-1,66 ^{ns}
Março	-1,49 ^{ns}	-1,07 ^{ns}	-0,60 ^{ns}	-0,50 ^{ns}
Abril	0,88 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,78 ^{ns}	0,89 ^{ns}
Maió	0,68 ^{ns}	-0,16 ^{ns}	0,64 ^{ns}	0,03 ^{ns}
Junho	-0,60 ^{ns}	-2,00 [*]	-1,36 ^{ns}	-2,10 [*]
Julho	0,35 ^{ns}	-2,01 [*]	-0,48 ^{ns}	-0,40 ^{ns}
Agosto	-1,37 ^{ns}	-1,48 ^{ns}	-0,54 ^{ns}	-1,33 ^{ns}
Setembro	1,01 ^{ns}	0,15 ^{ns}	1,54 ^{ns}	-0,71 ^{ns}
Outubro	1,65 ^{ns}	1,72 ^{ns}	2,47 [*]	2,38 [*]
Novembro	-0,82 ^{ns}	-0,80 ^{ns}	-1,35 ^{ns}	-0,60 ^{ns}
Dezembro	-0,68 ^{ns}	0,84 ^{ns}	-0,30 ^{ns}	0,15 ^{ns}
Anual	0,61 ^{ns}	-1,42 ^{ns}	0,80 ^{ns}	-0,65 ^{ns}

^{ns}=não significativo; ^{*}=significativo a 5% (p<0,05); ^{**}=significativo a 1% (p<0,01)

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Em outubro, a tendência de aumento apresentada de P-ETo provavelmente está mais atrelada ao aumento da temperatura do ar observada em Tupanciretã e Camaquã, apesar da mesma tendência observada na precipitação no município litorâneo.

Os resultados da averiguação de tendência em elementos climáticos decorrem em parte pelo tamanho da série utilizada, como atestado no estudo feito por Minuzzi (2010), em que primeiramente foram encontrados pontos de mudança no comportamento da temperatura e precipitação mensal, de 1955 a 2008, em quatro localidades de Santa Catarina. As tendências encontradas em quase todos os meses da temperatura mínima e máxima do ar, raramente foram repetidas nas séries antes e após os pontos de mudança encontrados. Alguns fatores podem ser apontados como responsáveis por tais mudanças e, conseqüentemente, nas tendências climáticas, como a alteração da superfície no entorno da estação meteorológica ou a mudança do seu local, problemas nos instrumentos e, como sugerido por Dias *et al.* (2009), a forçantes climáticas de variabilidade interdecadal como a Oscilação Decadal do Pacífico e/ou a maior frequência de eventos intensos do El Niño Oscilação Sul (Molion, 2006).

Neste quesito de fenômenos naturais, Minuzzi e Lopez (2014) encontraram periodicidades na chuva anual em alguns locais de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul

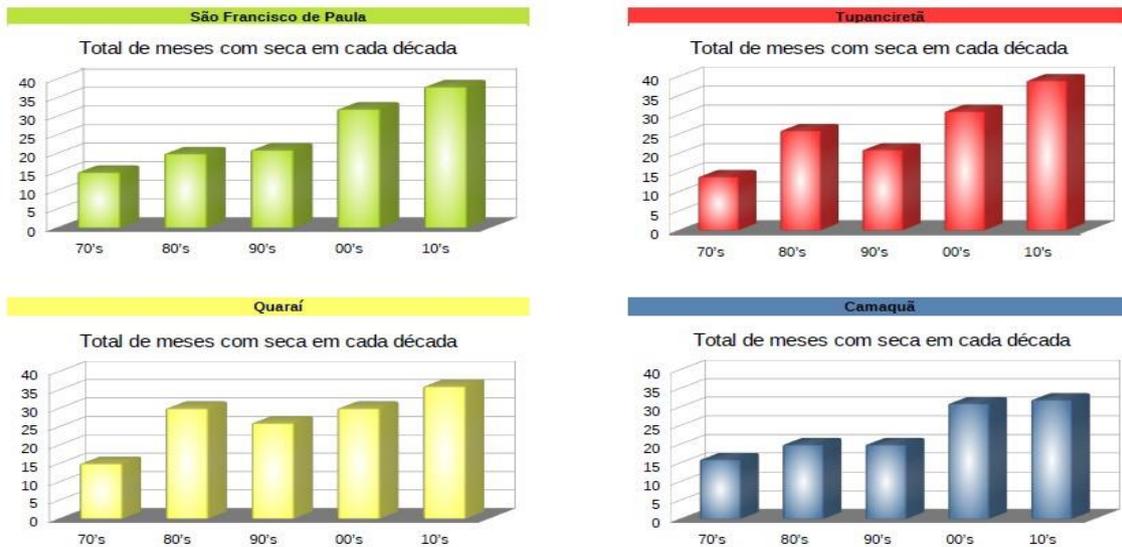
que sugerem a relação com esses fenômenos climáticos. Ademais, Hoerling, Eischeid e Perlwitz (2010) também seguem esta tese ao mostrarem que a tendência da chuva anual global, especialmente sobre os trópicos, está mais atrelada à variabilidade da temperatura da superfície do mar do que aos fatores humanos, como as emissões humanas de gases de efeito estufa e aerossóis.

Outra questão que pode ser influente no resultado de uma análise de tendência são os métodos estatísticos aplicados. Souza, Amorin e Reis (2020) demonstraram a influência da correlação temporal e da multiplicidade de testes de hipóteses, na detecção de tendência de dez índices de precipitação coletadas em 2481 estações meteorológicas no Brasil. Os resultados mostraram que tanto a correlação temporal, quanto a questão da multiplicidade, se não forem consideradas na análise de detecção, podem distorcer de forma considerável o número de resultados identificados com presença de tendência, levando a uma interpretação equivocada da situação. Negligenciar esses fatores resulta sempre numa superestimativa do número de estações com tendência devido ao número elevado de falsas detecções.

Nas Figuras 2 a 6 são apresentadas para as décadas de 1970-1979, 1980-1989, 1990-1999, 2000-2009, 2010-2019, a frequência quanto ao número de meses de seca, ocorrências de eventos de seca (onde “n” meses de seca seguidos contam como uma ocorrência), ocorrência média de seca (média da duração de cada ocorrência de seca), duração máxima de um evento de seca (maior quantidade seguida de meses secos) e intensidade máxima de seca, que demonstra a maior intensidade com que a seca atingiu na década.

Na Figura 2 pode-se observar que nas quatro áreas em estudo, na década de 1970, os meses de seca não passaram de 15, enquanto na década de 2010, esse número duplicou. Na região de Tupanciretã houve quase 40 meses com seca, num total de 120 meses, o que dá em torno de 30% dos meses com seca na recente década. Com os dados separados por década, pode-se ver claramente a tendência de que com o passar dos anos, a quantidade de meses secos estão ficando mais frequentes nas quatro regiões do Rio Grande do Sul.

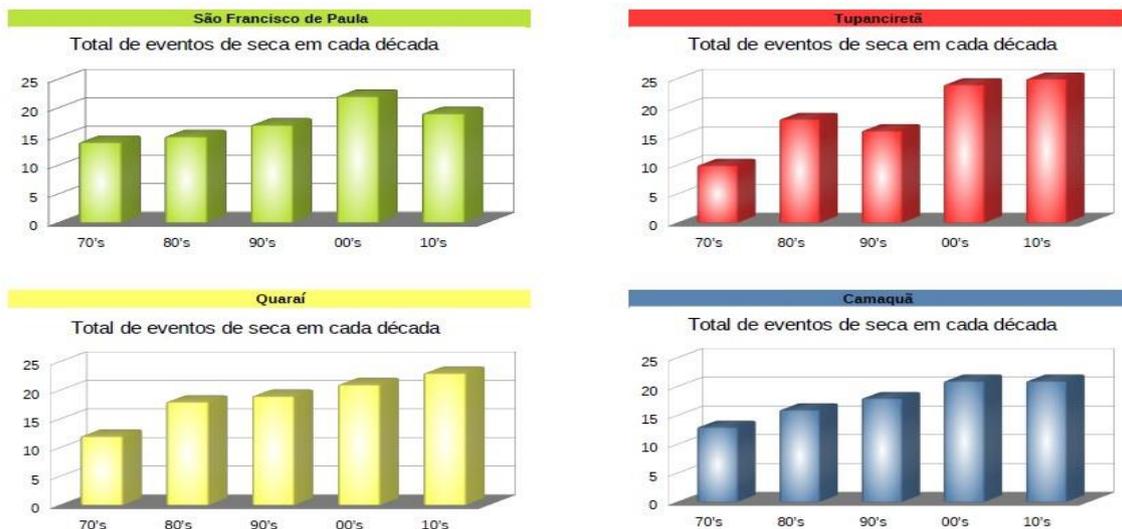
Figura 2 - Quantidade de meses ‘secos’ por década nas quatro regiões em estudo localizadas no Rio Grande do Sul.



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Na Figura 3 observa-se que durante a década de 1970, os eventos de seca foram entre 10 e 15, enquanto esses números foram aumentando gradativamente até a década de 2010, onde todos ultrapassaram 20 ocorrências, como na região de Tupanciretã, com 25 eventos de seca.

Figura 3 - Quantidade de ocorrências de eventos de seca por década nas quatro regiões em estudo localizadas no Rio Grande do Sul.

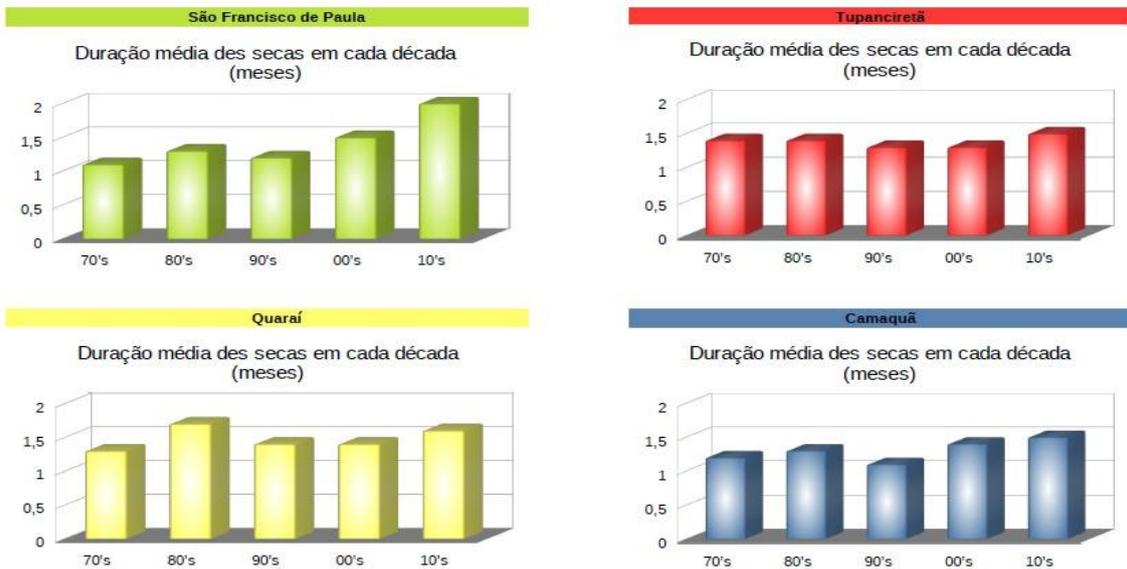


Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

A duração média dos eventos de seca não teve um comportamento temporal relativamente tão definido, exceto na região de São Francisco de Paula (Figura 4). Nesta região do estado, pode-se observar que os eventos de seca passaram a durar de, um mês na década de 1970, para uma média de dois meses, na década de 2010. Nas demais regiões

a variação não foi tão grande, chegando a diminuir em alguns momentos.

Figura 4 - Duração média dos eventos de seca por década nas quatro regiões em estudo localizadas no Rio Grande do Sul.



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Apesar dos eventos de seca terem aumentado gradativamente desde a década de 1970, os eventos mais duradouros ocorreram na década de 1980 em três regiões, a despeito de que, em Camaquã, esta marca é compartilhada em outras duas décadas (Figura 5). A exceção foi em São Francisco de Paula, onde o máximo de meses secos na década de 2010 chegou a cinco. Este limiar de duração foi o máximo observado no Rio Grande do Sul, que se repetiu na região de Quaraí na década de 2010.

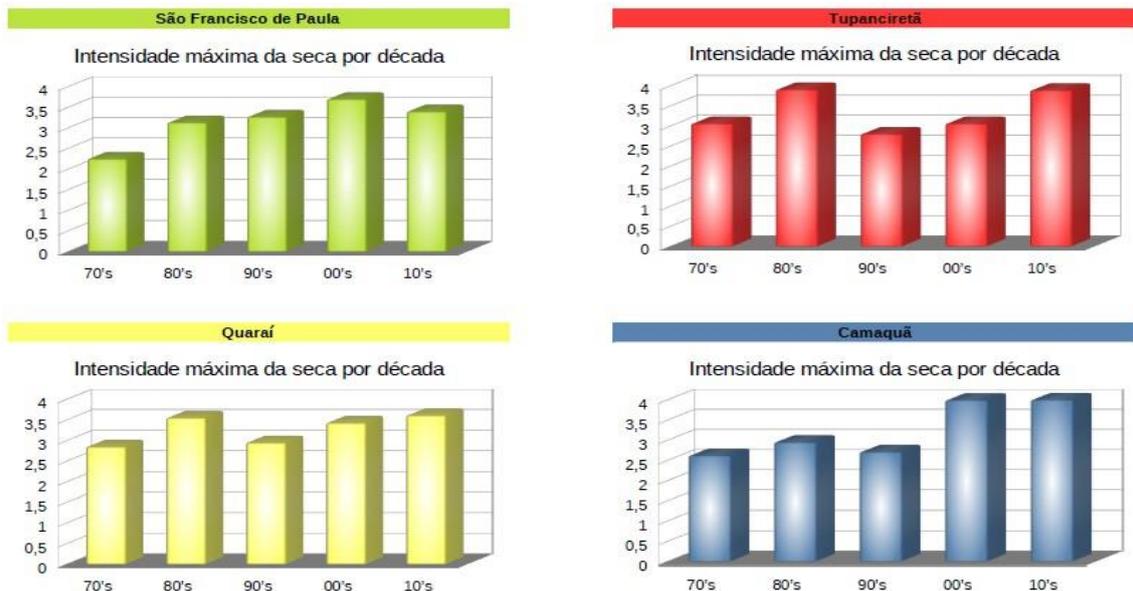
Figura 5 - Duração máxima de seca por década nas quatro regiões em estudo localizadas no Rio Grande do Sul.



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Pode-se observar na Figura 6, que na década de 1970 a intensidade máxima das secas (maior valor do índice Ped) ficava entre 2 e 3 (seca moderada). Na década de 2010 a intensidade máxima ficou entre 3 e 4, demonstrando que além de maiores e mais frequentes, as secas também ficaram ‘severas’, o que interfere diretamente na agricultura, conforme atestado por Franz *et al.* (2021), onde a estiagem tem impactado diretamente na dimensão produtiva, uma vez que vinte municípios da região sul do RS decretaram situação de emergência em detrimento da seca durante a pandemia do Covid-19.

Figura 6 - Intensidade máxima de seca por década nas quatro regiões em estudo localizadas no Rio Grande do Sul.



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

No contexto geral, todas as temperaturas tiveram tendência de aumento, principalmente nas áreas próximas às regiões com maior densidade demográfica. Com a maior frequência de eventos de seca, mais longos e de maior intensidade, associados com a quase inexistência de tendências mensais na chuva, pressupõe-se que este elemento climático está apresentando uma distribuição mais irregular na escala temporal e espacial.

Conclusões

As quatro regiões em estudo, mesmo tendo coberturas vegetais diferentes, suas temperaturas mínimas, máximas e médias apresentaram tendência de aumento, mas de forma mais evidente na região dos Campos de Cima da serra gaúcha.

Os eventos de seca estão ficando cada vez mais frequentes, mais longos e com uma intensidade maior no Rio Grande do Sul.

O mesoclima destas regiões está mudando, tendendo para um ambiente mais quente, seco e de chuvas irregulares nas escalas temporal e espacial.

Referências

ABATZOGLOU, J. T. [et al.]. Terraclimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958-2015. **Scientific Data**, v. 5, n. 170191, 2018.

ANDRIUCCI, L. R.; SANT'ANNA NETO, J. L. Valoração ambiental: uma abordagem teórica das relações entre os estudos climatológicos e as análises econômicas. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 2, p. 103-120, 2006.

ATLAS SOCIOECONÔMICO DO RIO GRANDE DO SUL. **Demografia**. Agência Gaúcha de Fomento, 2020. Disponível em: <<https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/distribuicao-e-densidade-demografica>>. Acesso em: 17 ago. 2021.

BONSAL, B. R. [et al.]. Characteristics of daily extreme temperatures over Canada. **Journal of Climate**, v. 14, p. 1959-1976, 2001.

BROWN, S. J.; CAESAR, J.; FERRO, C. A. T. Global changes in extreme daily temperature since 1950. **Journal of Geophysical Research**, v. 113, n. 5, p. 1-11, 2008.

CHUNG, Y.S.; YOON, M.B. Interpretation of recent temperature and precipitation trends observed in Korea. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 67, p. 171-180, 2000.

CORRALES, N. L. P. **Enfrentando as dificuldades na atividade pecuária da campanha gaúcha**: as estratégias utilizadas pelos pecuaristas familiares no município de Quaraí (RS). 2011. 46 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Planejamento e

Gestão para o Desenvolvimento Rural) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Quaraí, 2011. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/54688>>. Acesso em: 27 ago. 2021.

DIAS, M. A. F. S. [et al.]. **As chuvas de novembro de 2008 em Santa Catarina**: um estudo de caso visando à melhoria do monitoramento e da previsão de eventos extremos. São José dos Campos: INPE, 2009. 67 p.

GRIMM, A. M. Clima da região Sul do Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A. [et al.] (Org.). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 259-275.

FRANZ, J. C. [et al.]. Observatório da problemática da seca e do Covid-19 na agricultura familiar na região sul do RS: relatório do projeto de extensão. **Expressa Extensão**, v. 26, n. 1, p. 109-120, 2021.

HOERLING, M.; EISCHEID, J.; PERLWITZ, J. Regional precipitation trends: distinguishing natural variability from anthropogenic forcing. **Journal of Climate**, v. 23, p. 2131-2145, 2010.

JIN, X. [et al.]. Response of local temperature variation to land cover and land use intensity changes in China over the last 30 years. **Climatic Change**, v. 164, n. 3, p. 1-20, 2021.

KHAN, V.; KIM, I. A análise de agrupamento pluviométrico nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10., 1998, Brasília, DF: **Anais...** Brasília: SBMet, 1998.

KENDALL, M. G. **Rank correlation methods**. London: Charles Griffin, 1975. 120 p.

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

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia**: noções básicas e climas do Brasil. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 206 p.

MINUZZI, R. B.; LOPEZ, F. Z. Variabilidade de índices de chuva nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. **Biosciense Journal**, v. 30, n. 3, p. 697-706, 2014.

MINUZZI, R. B. Tendências na variabilidade climática de Santa Catarina, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 12, p. 1288-1293, 2010.

MOLION, L. C. B. Aquecimento global, El Niños, manchas solares, vulcões e oscilação decadal do Pacífico. **Revista Climanálise**, n. 1, p. 1-5, 2006.

PEDEY, D. A. On indicators of droughts and wet conditions (in Russian). **Proc. USSR Hydrometeorol. Centre.**, v. 56, p. 19-39, 1975.

ROSSATO, M. S. **Os climas do Rio Grande do Sul**: variabilidade, tendências e tipologia. 2011. 240 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/32620>>. Acesso em: 17 ago. 2021.

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.

SOUZA, S. A.; AMORIM, R. S.; REIS, D. S. Influência da correlação temporal e da multiplicidade de testes de detecção de tendências de índices de chuva no território brasileiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 16, p. 107-129, 2020.

THORNTHWAITE, C. W. An approach towards a rational classification of climate. **Geographical Review**, n. 38, p. 55-94, 1948.

TORRES, F. T. P.; MACHADO, P. J. de O. **Introdução à climatologia**. São Paulo: Cengage Learning, 2011. 256 p.

WOLLMANN, C. A.; GALVANI, E. Caracterização climática regional do Rio Grande do Sul: dos estudos estáticos ao entendimento da gênese. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 11, p. 87-103, 2012.

Como citar:

ABNT

SILVA, C. V. F. de O.; MINUZZI, R. B. Tendências e variabilidades climáticas em regiões com diferentes classes de uso e cobertura do solo no Rio Grande do Sul. **InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade**, v. 10, n. 01, e20360, 2024. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.18764/2446-6549.e20360>>. Acesso em: 24 mar. 2025.

APA

Silva, C. V. F. de O., & Minuzzi, R. B. Tendências e variabilidades climáticas em regiões com diferentes classes de uso e cobertura do solo no Rio Grande do Sul. *InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade*, v. 10, n. 01, e20360, 2024. Recuperado em 24 março, 2025, de <http://dx.doi.org/10.18764/2446-6549.e20360>



This is an open access article under the CC BY Creative Commons 4.0 license.
Copyright © 2025, Universidade Federal do Maranhão.

