

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

Carlos Vinicius Frota de Oliveira Silva^{(1)*}, Rosandro Boligon Minuzzi⁽²⁾

(1) Acadêmico do curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Santa Catarina. Rod. Ademar Gonzaga,1346, Bairro Itacorubi, Caixa Postal 476, CEP 8840-900, Florianópolis-SC, Brasil.

(2) Professor, Depto. de Engenharia Rural, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Santa Catarina. Rod. Ademar Gonzaga,1346, Bairro Itacorubi, Caixa Postal 476, CEP 8840-900, Florianópolis-SC, Brasil.

*Autor Correspondente - E-mail: vinifos@gmail.com

Resumo

Indícios de mudanças climáticas vêm sendo observadas em várias regiões do planeta. Neste trabalho foram escolhidas quatro regiões do Rio Grande do Sul, com diferentes tipos de uso e cobertura de solo, para avaliar a tendência climática da chuva e temperatura do ar e a variabilidade dos eventos de seca. Foram utilizados dados mensais de temperatura e chuva, entre os anos de 1970 e 2020, e a análise feita em relação aos meses de seca e eventos de seca foram feitas na escala decadal. O teste de Mann-Kendall foi usado para avaliar a tendência mensal de temperatura do ar 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. As principais conclusões foram que a temperatura do ar apresentou uma tendência mensal de aumento em todas as regiões, e que os eventos de seca tem sido mais frequentes, mais longos e com intensidade maior.

Palavras-chave: mudança climática, seca, temperatura do ar, chuva.

Abstract

Indications of climate change have been observed in various regions of the planet. In this work, four regions of Rio Grande do Sul were chosen, with different types of land use and land cover, to assess the climatic trend of rainfall and air temperature and the variability of drought events. Monthly temperature and rainfall data were used, between the years 1970 and 2020, and the analysis carried out in relation to the months of drought and drought events were carried out on the decadal scale. The Mann-Kendall test was used to assess the monthly

trend of air 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. The main conclusions were that the air temperature showed a monthly tendency to increase in all regions, and that drought events have been more frequent, longer and with greater intensity.

Key words: climate change, drought, air temperature, rain.

Introdução

Nas últimas décadas, a América do Sul tem sido frequentemente afetada por eventos extremos, causadores de desastres naturais, que a situa entre as zonas mais afetadas do planeta. Destacam-se as inundações e deslizamentos de terra associados aos grandes volumes de chuva, registrados principalmente na Argentina, Bolívia, Brasil, Chile e Colômbia. Alternativamente, foram registrados períodos prolongados de secas/estiagens, como observado entre 2010 e 2014 (MENDONÇA; ROMERO; OPAZO, 2014). De forma recorrente, o aumento desses desastres hidroclimáticos tem sido atribuído como efeito das mudanças climáticas associadas ao aquecimento global.

Estudos climáticos se baseiam em séries de longo tempo de observações realizadas em estações meteorológicas/climatológicas de superfície, sendo elas automáticas ou convencionais. Esses estudos são de extrema importância para diversos setores, como por exemplo, agrícola, florestal, engenharias, geociências, ambiental, entre outros, pois permitem caracterizar tendências de curto (variabilidade sazonal e interanual) e longo prazo (variabilidade climática e mudanças climáticas), comparar essas tendências entre diferentes regiões, e assim descrever os padrões climáticos espaço-temporal de um território (ANDRIUCCI e NETO, 2006).

Referente ao clima do Rio Grande do Sul, Rossato (2011) destaca que a temperatura média anual 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. Segundo a classificação climática de Köppen, o clima do Estado do Rio Grande do Sul é do tipo Cfa e Cfb, úmido em todas as estações do ano, verão quente e moderadamente quente. O Cfa predomina na maior parte do Estado e o Cfb encontra-se nas partes mais elevadas da Serra do Nordeste, Planalto e Serra do Sudeste.

Apesar da sua importância, observações de longo tempo no Brasil restringem-se a séries não contínuas, de baixa qualidade, sem homogeneidade espaço-temporal e, ou, com distribuição irregular no espaço (OLIVERIA-JÚNIOR et al., 2012; PRECINOTO et al., 2013).

Miller (1982 apud TORRES; 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. 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.

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 WordClim 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).

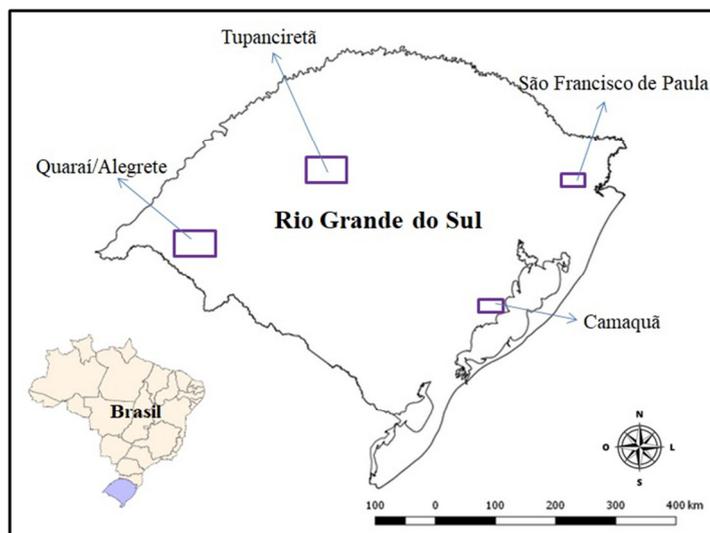


Figura 1. Mapa do Rio Grande do Sul indicando as regiões (polígonos) donde foram obtidos os dados meteorológicos mensais.

A Tabela 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 a qual foram delimitados os polígonos de acesso ao Terraclimate.

Tabela 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

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

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

sendo a estatística 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 de Thornthwaite:

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

Sendo T_n a temperatura média do mês n (°C); e I um índice que expressa o nível de calor disponível na região, sendo calculado pela fórmula:

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

O expoente 'a', sendo função de I, também é um índice térmico regional e é calculado pela função polinomial:

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

O valor de ET_o calculado, 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 deve ser corrigido em função do número real de

dias e do fotoperíodo do mês, ou seja,

$$ETo_corrigido = ETo * (ND/30)(N/12) \quad (5)$$

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 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 dos eventos secos. O índice PED é obtido pela equação 5.

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

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

Desde a década de 1970, a temperatura mínima apresenta uma tendência estatisticamente significativa de aumento, principalmente, de outubro a janeiro, refletindo na escala anual (Tabela 2), 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 de área de maior densidade do Estado que localiza-se no eixo que liga Porto Alegre a Caxias do Sul (Atlas Sócioeconômico do RS, 2021), ou seja, 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 2. Coeficientes de Mann-Kendall para a temperatura mínima mensal e anual 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)

A temperatura máxima, também apresenta uma tendência estatisticamente significativa de aumento, principalmente, em abril, agosto e novembro, refletindo na escala anual (Tabela 3), ou seja, os períodos vespertinos têm sido mais quentes nestes períodos do ano no Rio Grande do Sul. Brown et al. (2008 apud COLLINS et al., 2009) também indicaram que os extremos diários de temperatura máxima e mínima do ar têm aumentado em grande parte das regiões do mundo desde 1950.

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. Ao analisarem a variabilidade espacial e temporal das temperaturas extremas no Canadá no período de 1950-1998, Bonsal et al. (2001) também encontraram grandes diferenças na escala regional e sazonal no país.

Tabela 3. Coeficientes de Mann-Kendall para a temperatura máxima mensal e anual 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; *=significativo a 5% ($p<0,05$); **=significativo a 1% ($p<0,01$)

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 4). 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 a 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.

Tabela 4. Coeficientes de Mann-Kendall para a temperatura média mensal e anual 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 *
Maiο	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)

Quanto ao total de chuva, houve tendências significativas de forma esporádica e, apenas na região de Quaraí e de Camaquã. 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 à temperatura do ar e a chuva, devem ser motivados a sua realização.

Como observado na Tabela 5, nos meses de abril e outubro ocorreu um aumento na quantidade de chuva, mesma tendência observada por Minuzzi e Lopez (2014) para Santa Catarina e Rio Grande do Sul quanto a quantidade de chuva e ao número de dias chuvosos (>1mm), principalmente durante o outono e a primavera.

Tabela 5. Coeficientes de Mann-Kendall para a chuva mensal e anual 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)

Analisando a Tabela 6, pode-se observar que apenas no mês de junho, em Quaraí e Tupanciretã, e no mês de julho em Quaraí, houve uma queda na diferença na quantidade de chuva menos a evapotranspiração (ETo) com significância estatística. Esta tendência 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 chuva é mais coerente a primeira hipótese, isto é, que a ETo aumentou em resposta ao aumento da temperatura do ar, já que, as tendências da chuva foram esporádicas. No mês de outubro em Camaquã e Tupanciretã houve um aumento significativo. Nos demais meses, nas quatro cidades, não houve nenhuma tendência com significância.

Tabela 6. Coeficientes de Mann-Kendall para a chuva menos evapotranspiração mensal e anual 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}
Mai	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)

No contexto geral, todas as temperaturas tiveram tendência de aumento, principalmente nas áreas próximas as regiões com maior densidade demográfica MINUZZI (2010), destaca que em Santa Catarina, identificaram-se mudanças no comportamento temporal da temperatura máxima (temperatura mínima) entre os anos de 1995 a 1997 (entre os anos de 1988 a 1991) apresentando, desde meados da década de 1950, tendência de diminuição (aumento).

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 nos quatro municípios, na década de 1970, os meses de seca não passaram de 15, enquanto na década de 2010, esse número duplicou. No município 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.

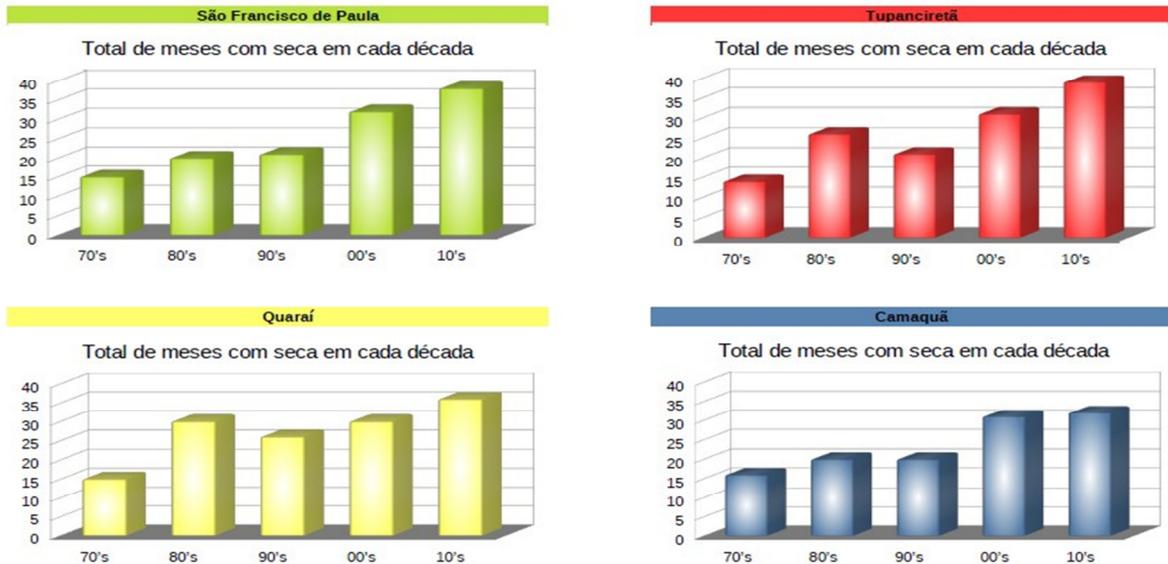


Figura 2: Quantidade de meses com seca por década nas quatro regiões em estudo localizadas no Rio Grande do Sul.

Na Figura 3 pode-se observar que nos quatro municípios 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 no município de Tupanciretã, com 25 eventos de seca.



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

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 1 mês na década de 1970 para uma média de 2 meses, na década de 2010. Nos demais municípios a

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

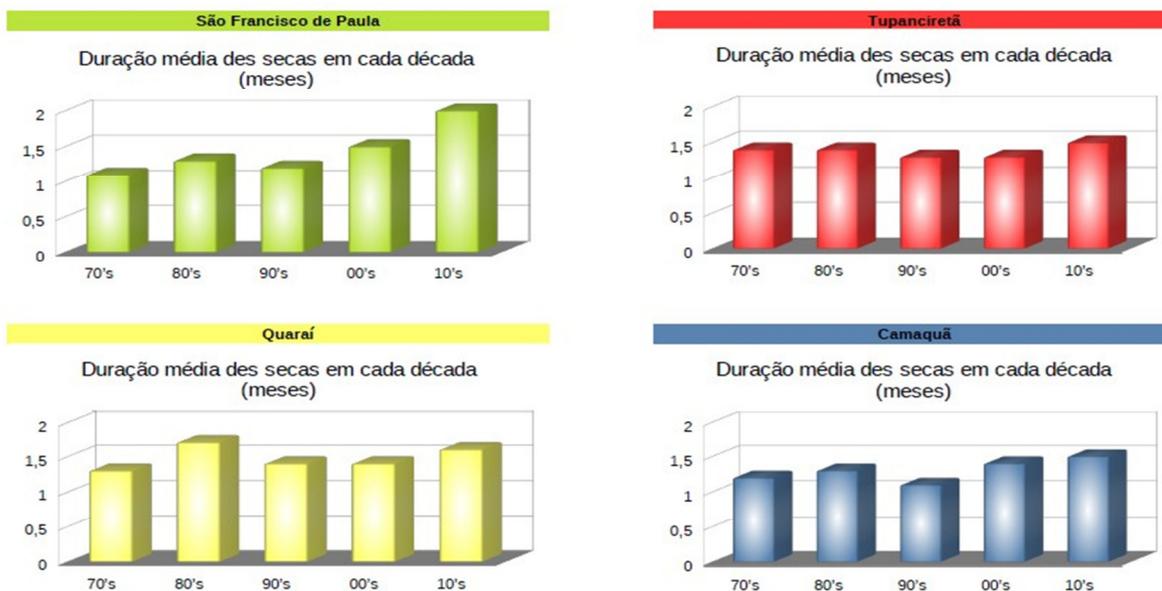


Figura 4: Duração média das secas por década nas quatro regiões em estudo localizadas no Rio Grande do Sul.

Apesar dos eventos de seca terem aumentado gradativamente desde a década de 1970, os eventos mais duradouros ocorrem na década de 1980 em três regiões, apesar 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.

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), de uma maneira geral, percebe-se que a estiagem tem impactado diretamente na dimensão produtiva, uma vez que vinte municípios da Região Sul, em 2020, decretaram situação de emergência em detrimento da seca.

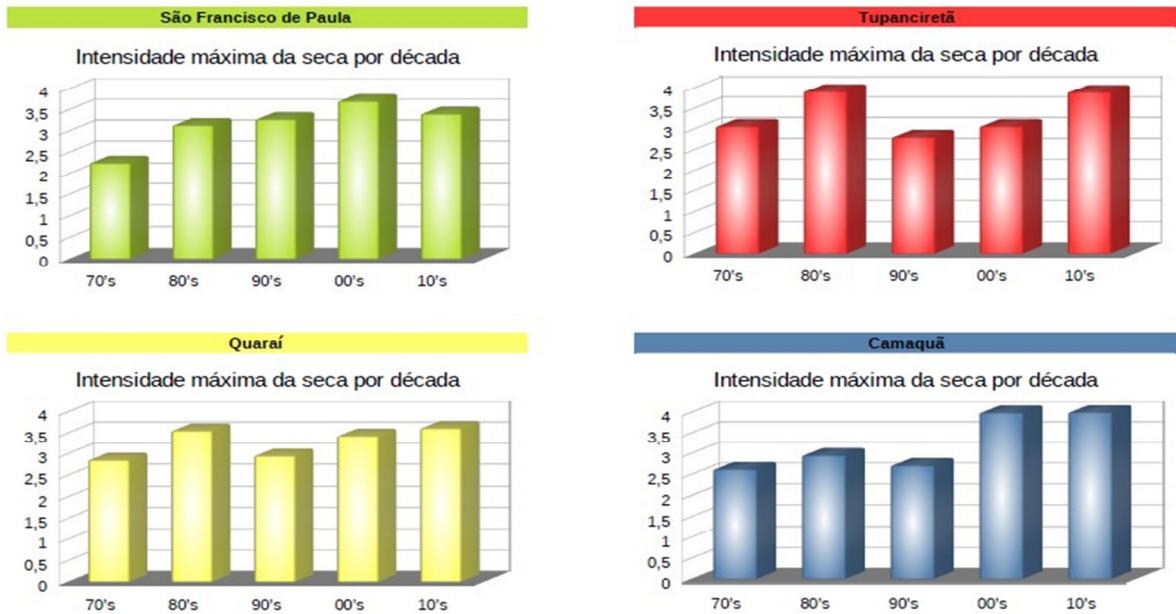


Figura 6: Intensidade máxima de seca por década nas quatro regiões em estudo localizadas no Rio Grande do Sul.

Conclusão

As regiões onde se localizam os municípios de Quaraí, Camaquã, Tupanciretã e São Francisco de Paula, mesmo tendo coberturas vegetais diferentes, suas temperaturas mínimas, máximas e médias estão aumentando, 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. Associando estes cenários de seca com a quase inexistência de tendências mensais na chuva, pressupõem-se que esta variável está apresentando uma distribuição mais irregular na escala temporal. Isso tudo demonstra que o microclima destas regiões está mudando, ficando mais quente.

Referências

ANDRIUCCI, L.R.; NETO, J.L.S. 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 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.

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.

COLLINS, J.M.; CHAVES, R.R.; MARQUES, V.S. Temperature variability over South America. **Journal of Climate**, v.22, p.5854-5859, 2009.

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. Monografia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Quaraí, 2011. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/54688>>. Acesso em: 27 ago. 2021.

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**. Doutorado. Universidade Federal de Pelotas, [S. l.], 2021. Disponível em: <<https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/expressaextensao/article/view/19604>>. Acesso em: 27 ago. 2021.

JIN, X.; JIANG, P.; DU, H.; CHEN, D.; LI, M. Response of local temperature variation to land cover and land use intensity changes in China over the last 30 years. **Climatic Change**, v.164, 34, 2021.

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

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

MENDONÇA, M.; ROMERO, H.; OPAZO, D. **Análise Multiescalar para a compreensão de causas e consequências da variabilidade climática na América do Sul**. 2021. Disponível em: <<http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/139679/an%C3%A1lise-multiescalar.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 20 ago. 2021.

MINUZZI, R.B. Tendências na variabilidade climática de Santa Catarina, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s. l.], 30 set. 2010.

MINUZZI, R. B.; LOPEZ, F. Z. Variabilidade de índices de chuva nos estados de Santa

Catarina e Rio Grande do Sul. **Biosciense**, [s. l.], maio/junho 2014.

OLIVEIRA-JÚNIOR, et. al. Análise de Homogeneidade de Séries Pluviométricas para Determinação do Índice de Seca IPP no Estado de Alagoas. **Floresta e Ambiente**, v. 19, p. 101-112, 2012.

PRECINOTO, R.S., et al. Uso de sistema de pré-processadores para obtenção de séries pluviométricas de qualidade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, **18. Anais...** Belém, 2013.

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

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

S. MARIA, *Disciplinarum Scientia*. Série: Ciências Exatas, v.2, n.1, p. 182, 2001