

INFLUÊNCIA DO FENÔMENO EL-NIÑO OSCILAÇÃO SUL NO CULTIVO DE ARROZ IRRIGADO NA BACIA HIDROGRÁFICA MIRIM-SÃO GONÇALO

**LUKAS DOS SANTOS BOEIRA¹; GEORGE MARINO SOARES GONÇALVES¹;
GUILHERME KRÜGER BARTELS¹; JANICE FERREIRA DA SILVEIRA¹ E
GILBERTO LOGUERCIO COLLARES¹**

¹ Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, Rua Gomes Carneiro, n° 1, Balsa, 96010-610, Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil, lukasdossantosboeira@gmail.com, george.marino.goncalves@gmail.com, guilhermebartels@gmail.com, janicesilveira@gmail.com, gilbertocollares@gmail.com

1 RESUMO

O cultivo de arroz representa um dos destaques na economia da região Sul do Brasil, porém sua produção pode sofrer impactos negativos relacionados às variações climáticas. Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar a produtividade média corrigida de arroz irrigado (PMCAI), assim como a influência do fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS) e os índices *Standardized Precipitation Index* (SPI), *Standardized Precipitation Evapotranspiration Index* (SPEI) e *Oceanic Niño Index* (ONI) na bacia hidrográfica Mirim-São Gonçalo (BHMSG). Foram utilizados valores de PMCAI para a região a partir das safras de 1984/1985 até a safra 2019/2020. Os períodos de regência ENOS foram identificados a partir de dados obtidos pelo *National Weather Service*, compreendendo o período supracitado, através do índice ONI. Os dados de precipitação e evapotranspiração de referência foram utilizados para o cálculo dos índices SPI e SPEI. Os resultados mostram que a variável PMCAI não apresentou significância a nível de 5% em relação à regência do fenômeno ENOS. Por sua vez, a análise dos índices SPEI e SPI para o mês de dezembro e o ONI em grande parte dos meses, apresentaram uma correlação significativa com a PMCAI.

Palavras-chaves: irrigação, produtividade, ENOS, SPI, SPEI.

**BOEIRA, L. S.; GONÇALVES, G. M. S.; BARTELS, G. K.; SILVEIRA, J. F.;
COLLARES, G. L.**

**INFLUENCE OF EL NINO/SOUTHERN OSCILLATION (ENSO) ON RICE CROP
YIELD IN THE MIRIM-SÃO GONÇALO WATERSHED**

2 ABSTRACT

Rice cultivation represents one of the highlights in the economy of the southern region of Brazil; however, its production may suffer negative impacts related to climatic variations. This study aimed to evaluate the corrected average of crop yield irrigated rice (PMCAI), as well as, the influence of the El Niño/Southern Oscillation (ENSO) phenomenon and the Standardized Precipitation Index (SPI), Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) and Oceanic Niño Index (ONI) indexes in the Mirim-São Gonçalo watershed. PMCAI values for this region were used from the harvest of 1984/1985 up to 2019/2020. The ENSO occurrence

periods were identified from data obtained from the National Weather Service, within the same mentioned harvest period using the ONI. The reference precipitation and evapotranspiration data were applied to calculate the SPI and SPEI indexes. The results indicated that the PMCAI variable did not show significance at the level of 5% in relation to the occurrence of the ENSO phenomenon. In turn, the analysis of the SPEI and SPI indices for December and the ONI in most of the months, showed a significant correlation with the PMCAI.

Keywords: irrigation, crop yield, ENSO, SPI, SPEI.

3 INTRODUÇÃO

O Brasil ocupa atualmente a 11^a posição no ranking mundial de produção de arroz, o que representa cerca de 7 milhões de toneladas anuais, assim como, está na 10^o e 15^o posição nos rankings mundiais de exportação e importação anual de arroz, respectivamente, representando uma produção de 650.000 toneladas na exportação, e 850.000 toneladas na importação (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 2021). Entretanto, parte considerável da produção mundial de arroz possui forte dependência por parte da oferta hídrica em bacias hidrográficas nas quais esses cultivos estão inseridos, pois de acordo com Lopes e Rocha (2006), mais de 75% da produção mundial de arroz é oriunda de cultivo irrigado.

A bacia hidrográfica Mirim - São Gonçalo (BHMSG) possui área total de 62.250 km², sendo essa área compartilhada entre Brasil (29.250 km², correspondendo a 47%) e Uruguai (33.000 km², ou seja, 53%), tornando a BHMSG uma bacia hidrográfica do tipo transfronteiriça (AGÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DA LAGOA MIRIM, 2020). Segundo Arroz (2020), na região Sul do Brasil, o cultivo orizícola é praticado quase que em sua totalidade de forma irrigada e por inundação. Vale destacar que na safra 2019/2020 (período entre os meses setembro-março), a produtividade média de arroz irrigado (PMAI) no estado do Rio Grande do Sul (RS) foi de 8.316 kg.ha⁻¹ (CONAB, 2018).

Tal cultivo é a principal atividade econômica na região da BHMSG e, de acordo com a CONAB (2018), o estado do RS foi responsável por 76,5% da produção de arroz irrigado no Brasil. Com isso, os principais usos da água na BHMSG são destinados à irrigação (OLIVEIRA et al., 2015) e abastecimento humano (AGÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DA LAGOA MIRIM, 2020).

A produtividade no cultivo de arroz irrigado é influenciada principalmente por condições meteorológicas adversas (baixas temperaturas, baixa radiação solar e baixa disponibilidade hídrica), passíveis de identificação a partir da análise do índice Oscilação Niño (*Oceanic Niño Index* - ONI), índice de precipitação padronizado (*Standardized Precipitation Index* - SPI) e o índice de precipitação e evapotranspiração padronizado (*Standardized Precipitation Evapotranspiration Index* - SPEI). Estes índices são geralmente aplicados em escala mensal e são utilizados para avaliar o quão úmido ou seco foi um determinado período. O índice SPI (MCKEE; DOESKEN; KLEIST, 1993) é provavelmente o índice mais utilizado em todo o mundo (SOBRAL et al., 2018), sendo recomendado pela Organização Meteorológica Mundial (WMO) pela sua simplicidade de aplicação, necessitando apenas de dados de precipitação (CHEN et al., 2013). Mais recentemente Vicente-Serrano et al. (2010) propuseram o SPEI, um índice baseado no balanço hídrico climático (diferença entre precipitação e evapotranspiração de referência) (POTOP, 2011). Ambos os

índices possuem como vantagens a possibilidade de serem calculados em diferentes escalas de tempo para monitorar o início, fim, duração e intensidade de cada período úmido ou seco (POTOP, 2011).

Um dos principais fenômenos climáticos que interferem na ocorrência e magnitude desses elementos climáticos é o El Niño-Oscilação Sul (ENOS) (SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO, 2016), inclusive é mencionado em estudos realizados por Arsego et al. (2020) e Carmona (2001), os quais relacionaram o fenômeno ENOS com o cultivo do arroz no estado do RS.

De acordo com a ARROZ (2020), para 2020 foi estimado que a produção de arroz seja da ordem de 11,2 milhões de toneladas, sendo dessas 10,3 milhões de toneladas cultivadas em áreas irrigadas, representando crescimento total de 6,6% em relação à safra anterior, fato permitido visto a safra recorde que o Brasil vivenciou no ano de 2020, com especial destaque para as condições climáticas favoráveis na região Sul do país.

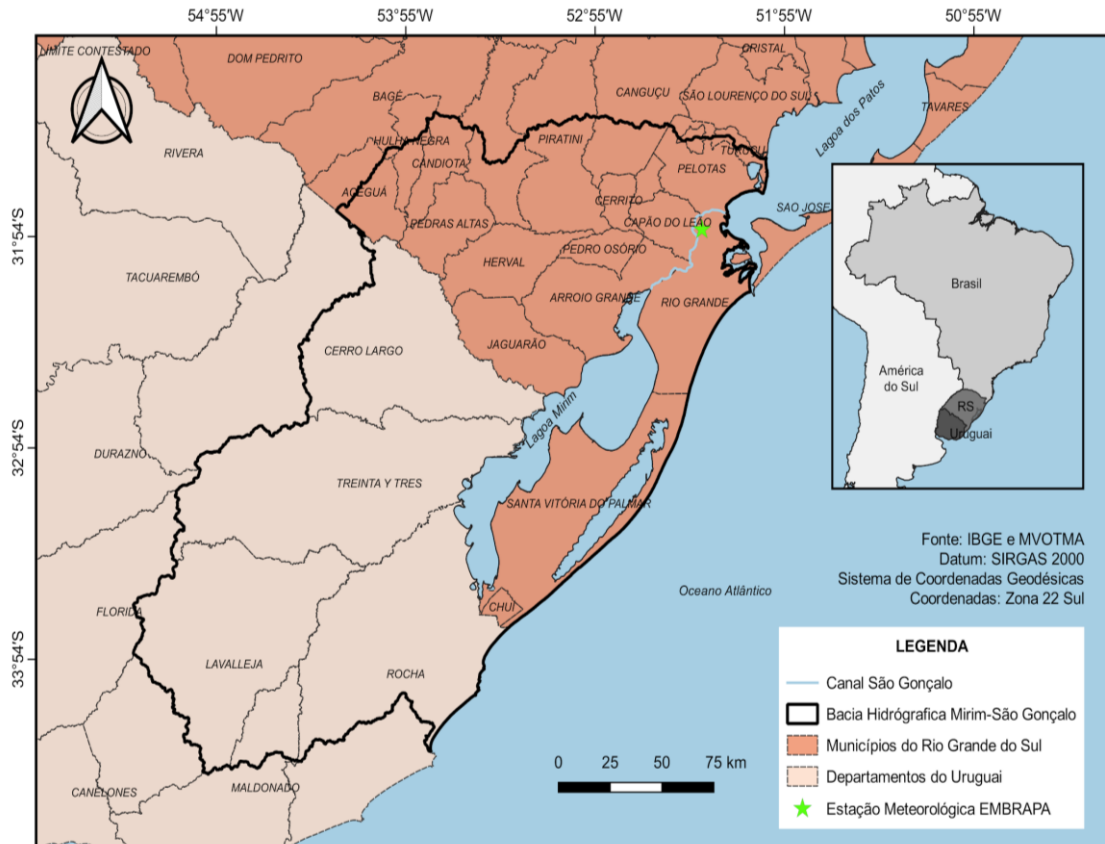
Influenciado pela pandemia de COVID-19, houve o aumento do preço do arroz no Brasil, resultando em aumentos superiores a 30% no valor da matéria prima, representando valores finais praticados 290% superiores ao preço mínimo

estabelecido pelo governo federal (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ARROZ, 2020). Com isso, o objetivo deste estudo foi avaliar a influência do ENOS e os índices SPI, SPEI e ONI, entre os anos de 1984 e 2020, sobre a produtividade média corrigida de arroz irrigado (PMCAI) na bacia hidrográfica Mirim-São Gonçalo.

4 METODOLOGIA

Segundo Oliveira et al. (2015, 2019), o Complexo Lagunar Patos-Mirim é considerado o maior sistema de lagoas da América Latina. De acordo com Corrêa et al. (2015), esse complexo está localizado no extremo sul do Brasil e engloba em sua área a Lagoa Mirim e a Laguna dos Patos, às quais somadas possuem área total próxima a 10.000 km² e são conectadas por meio do Canal São Gonçalo com seus 76,6 km de extensão. A BHMSG está inserida nesse contexto, possuindo em sua área de drenagem a totalidade das águas da Lagoa Mirim e do Canal São Gonçalo e a parte sul da Laguna dos Patos (Figura 1), sendo de interesse para este estudo a porção brasileira da BHMSG, à qual engloba 21 municípios, o Canal São Gonçalo e parte da Lagoa Mirim.

Figura 1. Localização da área de estudo, apresentando a bacia hidrográfica Mirim-São Gonçalo, compreendendo sua porção brasileira e uruguaia



O clima da região, de acordo com a classificação climática de Köppen, é do tipo "Cfa", ou seja, temperado úmido com verões quentes, apresentando chuvas bem distribuídas durante todo o ano (PEEL; FINLAYSON; MCMAHON, 2007). Os dados de precipitação e evapotranspiração de referência (ET_o) pelo método de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998) foram obtidos a partir dos dados da estação meteorológica da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) Clima Temperado localizada no município de Capão do Leão, RS (Figura 1). Sendo utilizados para calcular dois índices: o índice de precipitação padronizado - SPI (MCKEE; DOESKEN; KLEIST, 1993) e o índice de precipitação e evapotranspiração padronizado - SPEI (VICENTE-SERRANO; BEGUERÍA; LÓPEZ-MORENO, 2010).

Tais índices podem ser aplicados com diferentes escalas de tempo, com isso, neste trabalho, foram utilizadas escalas de tempo de 1, 3, 6 e 12 meses, sendo nomeados como SPI-1 (SPEI-1), SPI-3 (SPEI-3), SPI-6 (SPEI-6), SPI-12 (SPEI-12), respectivamente. Para o cálculo do SPEI foi utilizado a distribuição log-logística, enquanto a distribuição gama foi aplicada no cálculo do índice SPI, conforme detalhado por Vicente-Serrano, Beguería e López-Moreno (2010). Na formulação original o SPEI utiliza a equação de Thornthwaite (THORNTHWAITE, 1948) para o cálculo da ET_o. Conforme o recomendado por Beguería et al. (2014), utilizamos a equação mais robusta de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998) para o cálculo da ET_o.

Os valores dos dois índices em todas as escalas foram calculados para os diferentes meses do ano (janeiro-dezembro). Utilizando como base o início da colheita o

mês de março (KLERING et al., 2016), os valores dos índices nos meses de janeiro a março foram relacionados com a produtividade obtida no mesmo ano, enquanto os valores dos índices obtidos nos meses de abril a dezembro foram correlacionados com a produtividade do ano seguinte.

A escala de tempo (1, 3, 6 ou 12 meses) e o mês mais apropriado de cada um dos índices para descrever a variabilidade da produtividade do arroz, foram selecionados com base no coeficiente de correlação de Pearson, considerando os níveis de significância de 0,1 e 0,05.

Os dados de produtividade das safras utilizadas no estudo foram obtidos a partir do Instituto Rio Grandense de Arroz (IRGA), por meio dos relatórios de safras de 1984/1985 até 2019/2020, totalizando 36 safras analisadas, com exceção da safra de 2006/2007 que está indisponível no banco de dados do IRGA (INSTITUTO RIO GRANDENSE DE ARROZ, 2020).

Um efeito a ser considerado é o aumento inerente e gradual da produtividade agrícola causado exclusivamente pela inserção e aperfeiçoamento de tecnologias aplicadas ao campo. De tal maneira, para efeito comparativo entre as safras levantadas, foi realizada a suavização dos efeitos por incremento da tecnologia dos dados de PMAI na bacia, aplicando a Equação 1, conforme proposto por Arsego et al. (2019).

$$Y_{ci} = Y_i - Y(X_i) + Y(X_f) \quad (1)$$

Em que: Y_{ci} é a produtividade média corrigida de arroz irrigado para o ano i ; Y_i é a produtividade original do ano i ; $Y(X_i)$ é a produtividade estimada para o ano i através do modelo de regressão, e $Y(X_f)$ é a produtividade do último ano estimada pela regressão linear.

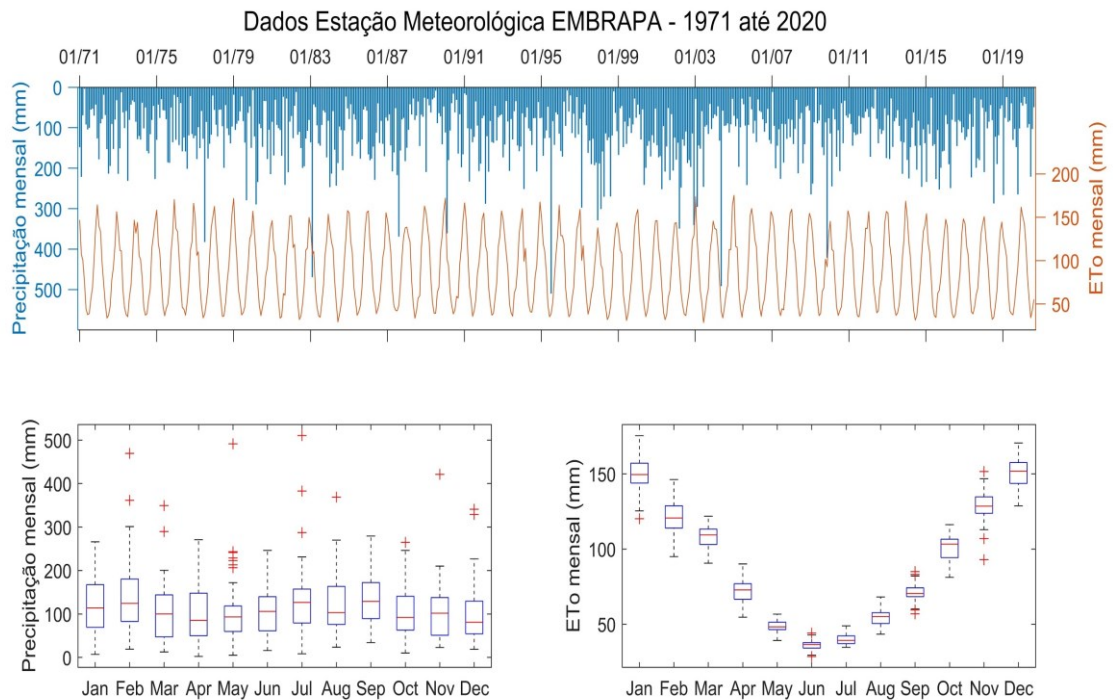
As informações dos períodos de regência do fenômeno ENOS foram obtidas a partir do *National Weather Service (NWS)* (CLIMATE PREDICTION CENTER INTERNET TEAM, 2020), compreendendo o período referente às safras analisadas, de 1984 a 2020, através do índice ONI.

Os valores de PMCAI da região foram relacionados com os períodos regidos pelo El Niño, La Niña e de Neutralidade Climática, com isso, foi realizado a análise estatística desses resultados por meio da análise de variância dos dados (Teste F) a 5% de significância, e quando houve diferença significativa entre os tratamentos os dados foram submetidos ao teste de média (Scott-Knott), a partir do programa estatístico Sisvar 5.6 ® (FERREIRA, 2008).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

De acordo com as informações obtidas da estação meteorológica da Embrapa, durante o período de 1971 até 2020 a precipitação média mensal variou de 103 mm (dezembro) a 150 mm (fevereiro), com média anual de 1.399 mm (Figura 2). A ETo variou de 36 mm no mês de junho até 150 mm em dezembro, com um total anual médio de 1.080 mm (Figura 2). A variação da ETo para o hemisfério Sul aumenta nos meses do verão e diminui nos meses de inverno. Conforme analisado por Hallal et al. (2013) a variação da ETo ao longo do ano está diretamente relacionada à disponibilidade de energia solar. Ao contrário da ETo a precipitação na BHMSG apresenta uma maior variabilidade durante os meses do ano e uma boa distribuição ao longo do ano, corroborando com os resultados encontrados em outros estudos (BOEIRA et al., 2020; GONÇALVES; BACK, 2018).

Figura 2. Variação temporal da precipitação e da evapotranspiração de referência (ET_o) para a região da bacia hidrográfica Mirim-São Gonçalo, durante o período de 1971 até 2020



A Tabela 1 apresenta a ocorrência de regência do fenômeno ENOS nas safras (através das cores) entre os anos 1984 e 2020, juntamente com os valores de PMAI e PMCAI, sendo que para as safras regidas em

períodos de El Niño é apresentada a cor vermelha, para as regidas pelo La Niña é apresentadas na cor azul e as de neutralidade climática são representadas pela cor cinza.

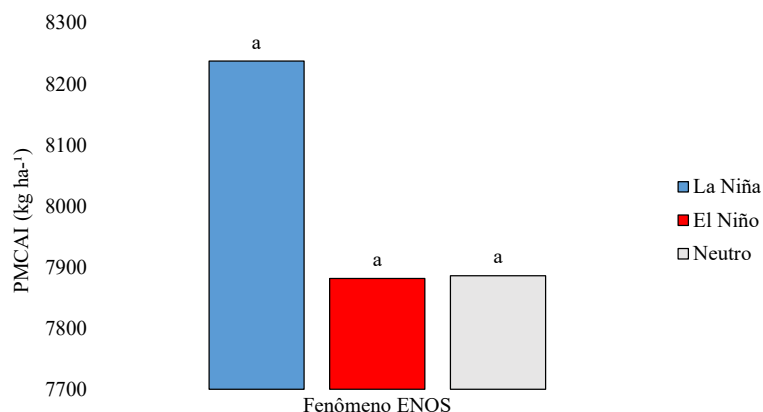
Tabela 1. Histórico das safras analisadas com seus respectivos valores de produtividade média de arroz e regência do fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS)

Safra	PMAI (kg.ha ⁻¹)	PMCAI* (kg.ha ⁻¹)	Safra	PMAI (kg.ha ⁻¹)	PMCAI* (kg.ha ⁻¹)
1984/1985	5.000,0	8.839,5	2002/2003	4.828,2	6.693,1
1985/1986	4.600,0	8.329,8	2003/2004	5.658,6	7.413,8
1986/1987	4.634,3	8.254,4	2004/2005	5.615,0	7.260,5
1987/1988	5.230,0	8.740,4	2005/2006	5.927,7	7.463,5
1988/1989	4.904,7	8.305,4	2006/2007	-	-
1989/1990	5.020,0	8.311,0	2007/2008	6.992,7	8.309,1
1990/1991	4.381,3	7.562,6	2008/2009	7.257,6	8.464,3
1991/1992	5.254,5	8.326,1	2009/2010	6.847,2	7.944,2
1992/1993	5.412,5	8.374,4	2010/2011	7.965,4	8.952,7
1993/1994	4.737,5	7.589,7	2011/2012	7.511,8	8.389,4
1994/1995	5.112,5	7.855,0	2012/2013	7.705,8	8.473,7
1995/1996	5.325,0	7.957,8	2013/2014	7.200,5	7.858,7
1996/1997	5.422,8	7.945,9	2014/2015	8.279,8	8.828,3
1997/1998	4.360,6	6.774,0	2015/2016	7.134,1	7.572,9
1998/1999	5.330,7	7.634,4	2016/2017	8.215,4	8.544,5
1999/2000	5.546,8	7.740,8	2017/2018	7.728,1	7.947,5
2000/2001	5.909,9	7.994,2	2018/2019	7.911,2	8.020,9
2001/2002	4.872,0	6.847,1	2019/2020	8.308,8	8.308,8

*Valores corrigidos a partir da Equação 1; PMAI= Produtividade média de arroz irrigado; PMCAI= Produtividade média corrigida de arroz irrigado; **El Niño**; **La Niña**; Neutralidade Climática.

Conforme os resultados expostos pela Tabela 1, a maior parte das safras (13 safras) foram períodos de neutralidade climática (neutro), seguidos de safras

regidas pelos fenômenos El Niño (12 safras) e La Niña (11 safras). A relação entre a PMCAI na região de estudo e o fenômeno ENOS é apresentada na Figura 3.

Figura 3. Relação entre PMCAI nas safras de 1984/1985 até a safra 2019/2020, com exceção de 2006/2007, com o fenômeno ENOS

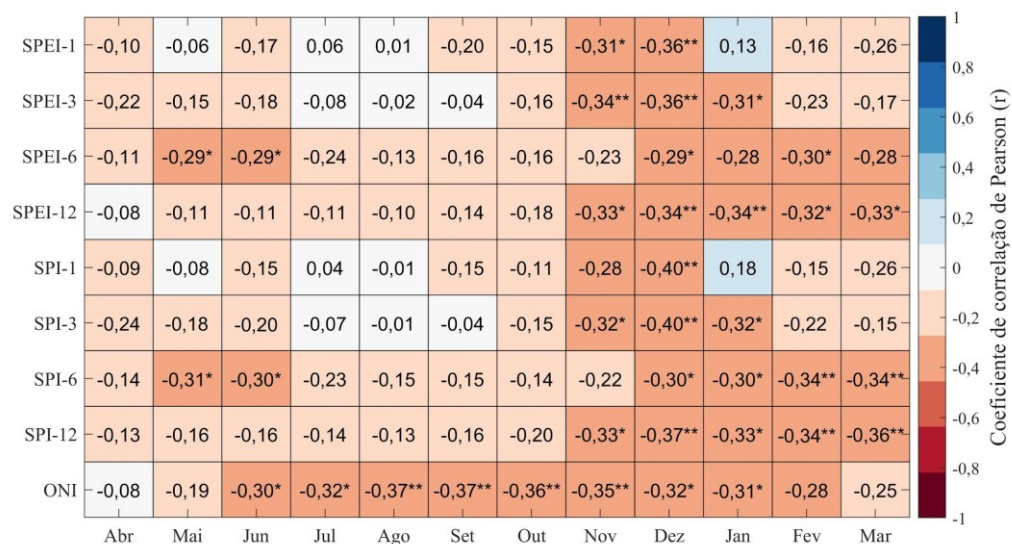
Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste Scott-Knott, ao nível $\alpha=0,05$

A partir da Figura 3 é possível verificar que a variável PMCAI não apresentou significância sob as regências do El Niño e La Niña e sob os períodos de neutralidade climática, sendo que, para os períodos regidos pelo La Niña a PMCAI foi superior aos demais (próximo a 4,3%), registrando valor de 8.237,7 kg.ha⁻¹, seguido pelos períodos de El Niño (7.881,6 kg.ha⁻¹) e períodos de neutralidade climática (7.886,2 kg.ha⁻¹). Estudos como de Arsego et al. (2020), Carmona (2001) e Mota (2000) verificaram que os eventos de La Niña estão

associados ao aumento da produtividade de arroz no sul do RS.

Por sua vez, a correlação entre a PMCAI e os índices SPI, SPEI e ONI em todas as escalas de tempo foram predominantemente negativas (Figura 4). No caso dos índices SPI e SPEI estes podem ser agrupados em sete categorias, desde extremamente seco (SPI e SPEI $\leq -2,0$) até extremamente úmido (SPI e SPEI $\geq 2,0$) (POTOP et al. 2014). Desta forma, para a BHMSG, as correlações negativas indicam aumento de PMCAI em períodos mais secos indicados pelos índices SPEI e SPI.

Figura 4. Matriz de correlação de Pearson entre os índices (SPEI-1 até SPEI-12, SPI-1 até SPI-12 e ONI) e a produtividade média corrigida de arroz irrigado para a bacia hidrográfica Mirim-São Gonçalo



* $p \leq 0,10$; ** $p \leq 0,05$; SPI-1 = Índice de precipitação padronizado na escala temporal de 1 mês; SPEI-1= Índice de precipitação e evapotranspiração padronizado na escala temporal de 1 mês; SPI-3 = Índice de precipitação padronizado na escala temporal de 3 meses; SPEI-3= Índice de precipitação e evapotranspiração padronizado na escala temporal de 3 meses; SPI-6 = Índice de precipitação padronizado na escala temporal de 6 meses; SPEI-6= Índice de precipitação e evapotranspiração padronizado na escala temporal de 6 meses; SPI-12 = Índice de precipitação padronizado na escala temporal de 12 meses; SPEI-12= Índice de precipitação e evapotranspiração padronizado na escala temporal de 12 meses; ONI= Índice Oscilação Niño.

A distribuição dos meses com correlação significativa é uniforme para ambos os índices (SPI e SPEI), com destaque para o mês de dezembro, no qual todas as escalas de tempo em que os índices foram aplicados, apresentaram correlações significativas ($p \leq 0,1$). Neste mês, as

maiores correlações foram obtidas com os índices SPI-1 e SPI-3 (-0,40). Prabnakorn et al. (2018) também obtiveram correlações mais altas (em módulo) entre a produtividade de arroz e o índice SPEI com período de agregação de um e três meses em uma bacia hidrográfica no nordeste da

Tailândia. Valores de correlação aparentemente fracas entre os índices SPI e SPEI e a produtividade do arroz irrigado também foram encontrados por Chen et al. (2016) em uma província da China. Os autores encontraram valores de correlações maiores entre os índices analisados e as culturas de sequeiro, como milho e sorgo. Os índices podem ser aplicados em diferentes escalas de tempo, sendo a escala de 3 meses uma das mais relevantes para a agricultura (POTOP et al., 2014). Desta forma, índices que apresentam correlações significativas, principalmente no período final de semeadura na BHMSG, como o SPEI-3 calculado para o mês de novembro, podem ser considerados importantes preditores da produtividade de arroz irrigado para a safra futura. Por causa da defasagem de tempo existente entre a resposta da vegetação à precipitação, Ji e Peters (2003) sugeriram o índice SPI-3 para avaliar os efeitos de períodos secos e úmidos na cobertura vegetal.

Por sua vez, a distribuição dos meses com correlação significativa é destaque para o índice ONI, apresentando correlações significativas ($p \leq 0,1$) para dois terços dos meses analisados, exceto fevereiro, março, abril e maio. Os meses de maiores correlações entre o índice ONI com a produtividade de arroz foram agosto e setembro (-0,37), outubro (-0,36) e novembro (-0,35), períodos esses de início de cultivo, no qual, situações que apresentem elevada radiação solar e menor intensidade e frequência de precipitação pluvial na primavera, permitem aos agricultores realizarem a semeadura na época adequada, sendo de grande importância para o agricultor (MENEZES et al., 2012). Arsego et al. (2020) obtiveram correlações semelhantes entre a produtividade de arroz e o índice ONI para 47 municípios produtores de arroz no estado do RS, ressaltando as correlações negativas durante o período de desenvolvimento da

cultura e a importância de analisar tais variáveis.

Outro ponto importante levantado por Arsego et al. (2020) é que o sinal associado ao ONI persiste com correlações significativas, estando assim ligada à persistência de um padrão de tempo mais seco durante o período de desenvolvimento da cultura que favorece a elevação da produtividade pela maior disponibilidade de radiação solar, sendo confirmado pela correlação negativa.

6 CONCLUSÕES

A partir do presente estudo conclui-se que:

1. A PMCAI, levando em consideração a suavização dos efeitos por incremento da tecnologia na BHMSG para o período de 1984/1985 a 2019/2020 foi de 7.995,1 kg.ha⁻¹.
2. O Fenômeno ENOS não apresentou significância para variável PMCAI na região de estudo.
3. Os índices SPEI e SPI com defasagens de 1, 3, 6 e 12 meses calculados para o mês de dezembro, são comumente os que possuem maior correlação com a produtividade de arroz irrigado, demonstrando que podem ser utilizados para análises de desempenho da atividade agrícola.
4. O índice ONI apresentou, para maior parte dos meses, correlações significativas com a produtividade de arroz irrigado, com destaque para os meses de início do cultivo.

7 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao suporte dado pela Agência de Desenvolvimento da Lagoa Mirim na proposição do tema e correção do manuscrito. A FAPERGS pela

bolsa de doutorado concedida ao primeiro autor, CAPES pela bolsa de doutorado concedida ao segundo autor e ao CNPq pela

bolsa de doutorado concedida ao terceiro autor.

8 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ARROZ. **Nota da ABIARROZ sobre oscilações no preço do arroz no mercado interno**. Brasília, DF: ABIARROZ, 2020. Disponível em: <http://abiarroz.com.br/detalhe-noticias?id=187>. Acesso em: 13 set. 2020.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. (Irrigation and Drainage Paper, 56).

AGÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DA LAGOA MIRIM. **Bacia Hidrográfica da Lagoa Mirim**. Pelotas: UFPEL, 2020. Disponível em: https://wp.ufpel.edu.br/alm/?page_id=2103. Acesso em: 04 set. 2020.

ARROZ. **Acompanhamento da Safra Brasileira: grãos**, Brasília, DF, v. 7, n. 4, p. 1-25, jan. 2020. Safra 2019/20, Quarto levantamento. Disponível em: <https://aprosojabrasil.com.br/wp-content/uploads/2020/01/GrosZjaneiroZresumo.pdf>. Acesso em: 10 set. 2020.

ARSEGO, D. A.; FERRAZ, S. E. T.; STRECK, N. A.; CARDOSO, A. O.; ZANON, A. J. Indicadores Climáticos e a Produtividade de Soja no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 34, n. 2, p. 191-200, 2019.

ARSEGO, D. A.; FERRAZ, S. E. T.; STRECK, N. A.; CARDOSO, A. O.; ZANON, A. J.; CERA, J. C. Índices Climáticos Associados a Variabilidade Interanual da Produtividade de Arroz no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 35, n. 2, p. 209-218, 2020.

BEGUERÍA, S.; VICENTE-SERRANO, S. M.; REIG, F.; LATORRE, B. Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) revisited: parameter fitting, evapotranspiration models, tools, datasets and drought monitoring. **International journal of climatology**, Oxford, v. 34, n. 10, p. 3001-3023, 2014.

BOEIRA, L. S.; BARBARA NETO, M.; NEVES, L. A.; TERRA, V. S. S.; COLLARES, G. L. Evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith em anos de ENOS para microrregião de Pelotas-RS. **Irriga**, Botucatu, v. 25, n. 3, p. 537-548, 2020.

CARMONA, L. C. **Efeitos associados aos fenômenos El Niño e La Niña no rendimento do arroz irrigado no Estado do Rio Grande do Sul**. 2001. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

CHEN, T.; WERF, G. R.; JEU, R. D.; WANG, G.; DOLMAN, A. J. A global analysis of the impact of drought on net primary productivity. **Hydrology and Earth System Sciences**, Goettingen, v. 17, n. 1, p. 3885-3894, 2013.

CHEN, T.; XIA, G.; LIU, T.; CHEN, W.; CHI, D. Assessment of drought impact on main cereal crops using a standardized precipitation evapotranspiration index in Liaoning Province. **Sustainability**, Basel, v. 8, n. 10, p. 1-16, 2016.

CLIMATE PREDICTION CENTER INTERNET TEAM. **Cold and warm episodes by season**. College Park: NOAA, 2021. Disponível em: https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php. Acesso em: 02 set. 2020.

CONAB. **Arroz irrigado**. Brasília, DF: Conab, 2018. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras/item/7689-arroz-irrigado>. Acesso em: 05 jan. 2021.

CORRÊA, F.; OLIVEIRA, E. F.; TUCHTENHAGEN, T.; POUHEY, J.; PIEDRAS, S. Ichthyofauna of the hydrographic basin of the Chasqueiro Stream (Mirim Lagoon system, southern Brazil): generating subsidies for conservation and management. **Biota Neotropica**, Campinas, v. 15, n. 4, p. 1-13, 2015.

FERREIRA, D. F. Sisvar: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 36-41, 2008.

GONÇALVES, F. N.; BACK, A. J. Análise da variação espacial e sazonal e de tendências na precipitação da região sul do Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 41, n. 3, p. 11-20, 2018.

HALLAL, M. C.; SCHÖFFEL, E. R.; BRIXNER, G. F.; RADUNZ, A. L. Estimativa da evapotranspiração de referência e sua relação com a precipitação ocorrida na região de Pelotas-RS. **Irriga**, Botucatu, v. 18, n. 1, p. 85-98, 2013.

INSTITUTO RIO GRANDENSE DE ARROZ. **Históricos**. Porto Alegre: IRGA, 2020. Disponível em: <https://irga.rs.gov.br/historicos>. Acesso em: 13 set. 2020.

JL, L.; PETERS, A. J. Assessing vegetation response to drought in the northern Great Plains using vegetation and drought indices. **Remote Sensing of Environment**, Amsterdam, v. 87, n. 1, p. 85-98, 2003.

KLERING, E. V.; FONTANA, D. C.; RODLIO, V. S.; ALVES, R. C. M.; BERLATO, M. A. Modelo agrometeorológico-espectral para estimativa da produtividade de grãos de arroz irrigado no Rio Grande do Sul. **Bragantia**, Campinas, v. 75, n. 2, p. 247-256, 2016.

LOPES, A. M.; ROCHA, A. C. P. N. Alguns aspectos econômicos e sociais da produção mundial de arroz em 2005. *In*: ENCONTRO AGROTECNOLÓGICO PARA A PRODUÇÃO DE GRÃOS, 1., 2006, Belém. **Anais [...]**. Belém: Grafic Express, 2006. p. 1-10. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/575470/1/Producaomundialdearroz.pdf>. Acesso em: 06 set. 2020.

MCKEE, T. B.; DOESKEN, N.; KLEIST, J. The relationship of drought frequency and duration to time scales. *In*: CONFERENCE ON APPLIED CLIMATOLOGY, 8., 1993, Anaheim. **Anais** [...]. Anaheim: American Meteorological Society, 1993. p. 179-184.

MENEZES, V. G.; ANAHINONI, I.; SILVA, P. R. F.; MACEDO, V. R. M.; GROHS, D. S.; FREITAS, T. F. S.; VALENTE, A. L. **Estratégias de Manejo para Aumento da Produtividade e da Sustentabilidade da Lavoura de Arroz Irrigado de RS: Avanços e novos Desafios**. Cachoeirinha: IRGA, 2012. (Projeto, 10).

MOTA, F. S. Influência dos fenômenos El Niño e La Niña sobre o rendimento do arroz irrigado na região de Pelotas (RS). **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 15, n. 2, p. 21-24, 2000.

OLIVEIRA, H.; FERNANDES, E. H. L.; MÖLLER JUNIOR, O. O.; RODRÍGUEZ, F. G. Relationship between Wind Effect, Hydrodynamics and Water Level in the World's Largest Coastal Lagoonal System. **Water**, Basel, v. 11, n. 11, p. 1-20, 2019.

OLIVEIRA, H. A.; FERNANDES, E. H. L.; MÖLLER JUNIOR, O. O.; COLLARES, G. L. Processos Hidrológicos e Hidrodinâmicos da Lagoa Mirim. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 20, n. 1, p. 34-45, 2015.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, Goettingen, v. 1, n. 11, p. 1633-1644, 2007.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO. **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Pelotas: Gráfica e Editora Pallot, 2016.

POTOP, V.; BORONEANȚ, C.; MOŽNÝ, M.; ŠTĚPÁNEK, P.; SKALÁK, P. Observed spatiotemporal characteristics of drought on various time scales over the Czech Republic. **Theoretical and Applied Climatology**, Wien, v. 115, n. 3-4, p. 563-581, 2014.

POTOP, V. Evolution of drought severity and its impact on corn in the Republic of Moldova. **Theoretical and Applied Climatology**, Wien, v. 105, n. 3, p. 469-483, 2011.

PRABNAKORN, S.; MASKEY, S.; SURYADI, F. X.; FRAITURE, C. Rice yield in response to climate trends and drought index in the Mun River Basin, Thailand. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 621, n. 1, p. 108-119, 2018.

SOBRAL, B. S.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. F.; GOIS, G.; PEREIRA JÚNIOR, E. R. Spatial variability of SPI and RDIst drought indices applied to intense episodes of drought occurred in Rio de Janeiro State, Brazil. **International Journal of Climatology**, Oxford, v. 38, n. 3, p. 3896-3916, 2018.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE- USDA. **World Agricultural Production**. Washington, DC: USDA, jan. 2021. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>. Acesso em: 09 jan. 2021.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical review**, Hoboken, v. 38, n. 1, p. 55-94, 1948.

VICENTE-SERRANO, S. M. V.; BEGUERÍA, S.; LÓPEZ-MORENO, J. I. L. A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. **Journal of Climate**, Washington, DC, v. 23, n. 7, p. 1696-1718, 2010.