

ANÁLISE DAS VARIÁVEIS AGROCLIMÁTICAS NA ESTIMATIVA DE PRODUTIVIDADE DO ARROZ IRRIGADO EM URUGUAIANA, RIO GRANDE DO SUL

FREITAS, Glauco Nunes - glauco_fr@hotmail.com
Instituto Federal de Santa Catarina / IFSC

QUADRO, Francisco Leal de - mquadro@ifsc.edu.br
Instituto Federal de Santa Catarina / IFSC

VITOR, Adriano - adriano.vitor@ifsc.edu.br
Instituto Federal de Santa Catarina / IFSC

Submetido em: 13/04/2020

Aceito para publicação em: 30/09/2020

Publicado em: 01/12/2020

DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v27i0.72866>

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi avaliar as variáveis agroclimáticas que no tempo e no espaço têm uma maior relevância entre o clima e a produtividade do arroz irrigado no município de Uruguaiana. Foram utilizadas séries temporais no período de 1984 a 2017, das seguintes variáveis agroclimáticas mensais: radiação solar global média, precipitação acumulada, média da temperatura máxima e mínima, número de dias com temperatura crítica mensal menor ou igual a 15,0°C, para temperaturas mínimas e maior ou igual a 35,0°C para temperaturas máximas, anomalias de temperatura da água do mar (TSM) nas regiões do Niño 1+2, 3.4 e 4 e dados de produtividade do arroz irrigado. Para identificar e avaliar as causas e os efeitos das variáveis agroclimáticas foi aplicada a técnica estatística de regressão linear múltipla que determinou o conjunto de variáveis agroclimáticas que melhor explicam a produtividade do arroz. Para se obter uma relação mais clara entre o clima e o rendimento do arroz se torna necessário a retirada da tendência tecnológica. Durante o estudo se constatou que uma das principais forças motrizes da variabilidade climática nos altos e baixos rendimentos do arroz irrigado é a temperatura do mar das regiões do Niño, no Oceano Pacífico Equatorial. No período vegetativo (setembro a dezembro) as variáveis que mais impactam o período do cultivo são, por ordem de magnitude de valor dos coeficientes de regressão, Niño3.4, Niño1+2, precipitação e nebulosidade. Entre o final do período vegetativo e o início do reprodutivo (Janeiro e Fevereiro), as variáveis mais impactantes são a nebulosidade e a radiação global. Na tentativa de solucionar a falta de dados observacionais ou questionáveis das estações meteorológicas em superfície, se optou por utilizar fontes alternativas como a técnica de reanálise (Merra2), o qual apresentou resultados satisfatórios com o ajuste do modelo de 81,22 % de R^2 (pred). Assim, se espera que as informações geradas pelos indicadores agroclimáticos se configurem úteis, com meses de antecedência ao início de uma atividade agrícola e durante o desenvolvimento da safra, melhorando as tomadas de decisões, minimizando riscos, custos e aproveitando as oportunidades

PALAVRAS-CHAVE: indicadores climáticos, climatologia, reanálises.

ANALYSIS OF THE AGRO-CLIMATIC VARIABLES IN THE ESTIMATE OF IRRIGATED RICE YIELD IN URUGUAIANA, RIO GRANDE DO SUL

ABSTRACT: This research concerns in to evaluate the agro-climatic variables that have a greater relevance between the climate and the productivity of irrigated rice over Uruguaiana region, in the state of Rio Grande do Sul, Brazil. Therefore, time series were used in the period from 1984 to 2017, of the following monthly agro-climatic variables: mean global solar radiation, accumulated precipitation, mean maximum and minimum temperature, number of days with monthly critical temperature less than or equal to 15,0°C, for minimum temperatures and greater than or equal to 35,0°C for maximum

temperatures, seawater temperature anomalies (TSM) in the Niño 1+2, 3.4 and 4 regions and irrigated rice yield data. To identify and evaluate the causes and effects of agro-climatic variables, the statistical technique of multiple linear regression was applied to determine the set of variables that best explain rice yield through agro-climatic indicators. In order to obtain a clearer relationship between climate and rice yield, it is necessary to remove the technological trend. During the study it was found that one of the main driving forces of climate variability in the high and low yields of irrigated rice is the sea temperature of the Niño regions of the Equatorial Pacific Ocean. In the vegetative period (September to December) the variables that most impact the cultivation period are, in order of magnitude of regression coefficients, Niño3.4, Niño1+ 2, precipitation and cloudiness. Between the end of the vegetative period and the beginning of the reproductive period (January and February), the most striking variables are cloudiness and global radiation. In an attempt to address the lack of observational or questionable data from surface weather stations, alternative sources such as the reanalysis technique (Merra2) were chosen. This technique presented satisfactory results with the adjustment of the model of 81,22% of R2 (pred). Therefore, the information generated by the agro-climatic indicators is expected to be useful months in advance of the start of an agricultural activity and during the development of the crop, thus improving decision-making, minimize risks, costs and seizing opportunities.

KEYWORDS: agro-climatic indicators, climatology, reanalysis data.

1. INTRODUÇÃO

As perdas na agricultura podem ser ocasionadas por adversidades abióticas, bióticas, políticas agrícolas ou até por questões econômicas (IBGE, 2004). Os baixos rendimentos causados por condições abióticas são principalmente de ordem climática (CIAIS et al., 2005). Dependendo da intensidade e a amplitude de ocorrência de um evento extremo, bem como, da sensibilidade da cultura, lavouras inteiras podem ser destruídas, atrasar as colheitas e a semeadura, causando prejuízos irreparáveis para as safras. As adversidades bióticas, por sua vez, relacionam-se a surtos de doenças e pragas nas lavouras (OERKE, 2006). O produtor deve lidar com essa realidade para desenvolver sua atividade, aumentar a rentabilidade e, conseqüentemente, promover melhoria no setor social, econômico e ambiental do agronegócio. Ainda conforme o estudo do IBGE (2004), a questão econômica está relacionada diretamente com a variação dos preços dos produtos no momento da venda. Em muitos casos, pode-se levar o produtor a destruir sua lavoura. Os juros muito altos para financiamento da safra, falta de incentivos e isenção de impostos também são causas relevantes.

O valor e a importância da análise climática para agricultura como a do arroz irrigado já desempenha um papel vital na formação da tomada de decisão para segurança alimentar em escala global. A cultura do arroz é considerada uma das mais importantes para segurança alimentar, sendo a base alimentar de aproximadamente mais de 3 bilhões de pessoas. O Estado do Rio Grande do Sul é o maior produtor nacional, sendo responsável por 70% do total produzido no Brasil (SOSBAI, 2018). Para o ano de 2018, o autor estimou que o valor de produção chegasse a 5 bilhões de reais, o que representaria mais do que 3% de ICMS e 2,74% do PIB. Neste cenário, de acordo com (VAN DER VELDE et al 2012), eventos climáticos extremos deverão aumentar nas próximas décadas em frequência e severidade. De acordo com a Organização Meteorológica Mundial (OMM, 2014) as condições meteorológicas extremas podem afetar fortemente a produção do arroz, com impactos negativos ou positivos, que podem ser detectados em escalas regionais. Por exemplo, no ano de 2014,

sobre o Estado do Rio Grande do Sul, durante o período de cultivo do arroz irrigado (entre os dias 27 de janeiro à 12 de fevereiro), foi verificado a presença de um bloqueio atmosférico provocando uma das ondas de calor mais intensas e extensas dos últimos 50 anos. Logo após a onda de calor as temperaturas baixaram de forma significativa, afetando à produção do arroz em algumas lavouras do Rio Grande do Sul (LOPES e BRESEGHELLO, 2015). Entretanto, a sensibilidade aos elementos climáticos varia, em função da fase fenológica da planta. A temperatura do ar, a radiação solar, e a precipitação estão entre os principais elementos climáticos que mais interferem no processo fisiológico da planta principalmente na fase vegetativa, de fertilidade de espiguetas e de maturação (STANSEL, 1975; YOSHIDA & PARAO, 1976).

Nos últimos anos, estudos têm sido desenvolvidos para identificar os impactos das condições adversas sobre os elementos agroclimáticos em cada período do ciclo do cultivo do arroz (SOSBAI 2018), na produtividade e nos rendimentos do produtor. Isso é possível através do uso de modelos de previsão de safra, através de métodos como o de regressão linear múltipla. Este método é utilizado para calibração dos modelos de impactos, que permitem extrair informações relacionadas de dados climáticos históricos e associar a uma atividade socioeconômica e ambiental no espaço e no tempo. Para identificar as variáveis que mais impactam os altos e baixos rendimentos agrícolas se utilizam as combinações entre os registros históricos meteorológicos e de produtividade (DELERCE et al., 2016). Ben-Ari et al. (2016) ressaltam que uma única variável (indicador) agroclimática não funciona sistematicamente bem, individualmente (independente do país ou espécies de culturas), mas as combinações de diversas variáveis apresentam valores aceitáveis. Portanto, para analisar às variáveis agroclimáticas que afetam a atividade da cultura do arroz, são utilizadas as recomendações técnicas da Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado (SOSBAI, 2018) e estão inseridas nas práticas da sustentabilidade da atividade orizícola.

Klering et al. (2008) elaborou e testou modelos de correlação para a estimativa de rendimento de arroz irrigado em seis regiões orizícolas no Estado do Rio Grande do Sul, para as safras 1982/1983 até 2005/2006. Nesse estudo analisou-se a tendência tecnológica dos rendimentos e foram estabelecidos indicadores agrometeorológicos para o ajuste de modelos de estimativa, sendo que esta técnica apresentou fácil implantação, baixos custos e podem ser inseridos ao programa nacional de previsão de safras ou rendimentos. Desse modo os trabalhos visam estabelecer os melhores indicadores das relações quantitativas clima-planta (KLERING et al., 2016) e clima-sociedade-economia (DELERCE et al., 2016). Neste sentido, as análises de mineração de dados de *BIG DATA* permitem uma rápida identificação e avaliação dos riscos climáticos, com meses de antecedência ao início de uma atividade agrícola, melhorando o suporte à tomada de decisões como:(i) práticas de manejo;(ii) cultivares mais resistentes e (iii) áreas mais apropriadas de cultivo para melhor se adaptar a variabilidade climática futura (DELERCE et al., 2016). Essas informações devem ser analisadas pelos produtores, setor público e pelos planejadores de políticas agrícolas e ambientais, visando melhorar a tomada de decisões, minimizar riscos, reduzir os custos e aproveitar as oportunidades.

Outra informação muito importante a ser analisada é sobre o fenômeno global El Niño Oscilação Sul (ENOS), que vem despertando uma grande preocupação da comunidade científica, órgãos públicos, sociedade em geral e

principalmente do setor agrícola do Rio Grande do Sul. A agricultura, em especial a produção de grãos no Estado, é a mais atingida por este fenômeno global através da elevação pluviométrica durante a fase quente do ENOS (El Niño) e deficiência de precipitação na fase fria (La Niña) (GUIMARÃES, 2013; BERLATO E FONTANA, 2011; CARMONA E BERLATO, 2002).

Portanto, um dos grandes desafios dos produtores rurais na agricultura de hoje é de coletar e interpretar uma enorme variedade de dados e utilizar a seu favor. Devido a essa complexidade de analisar uma grande quantidade de dados agroclimáticos se criou os indicadores como proposto por Bem-Ari (2016) bem como pela Agencia Europeia do Ambiente (EEA, 1999), que cita que os "os indicadores simplificam a informação que podem ajudar a revelar fenômenos complexos". Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é de identificar os fatores agroclimáticos, nas suas causas e efeitos, que possam explicar a variabilidade de rendimento durante o cultivo do arroz irrigado na região de Uruguaiana, no período de 1984 a 2017. Especificamente pretende-se identificar e quantificar, através da correlação linear múltipla, os principais indicadores climáticos de diversas escalas, que melhor estimam a produtividade de grãos de arroz ao longo da safra, na região de Uruguaiana. Através destas análises dos indicadores este trabalho visa propor um quadro geral que favorecem as análises das informações primárias (clima) para geração das informações secundárias (lucratividade, produtividade, rentabilidade e custeio, entre outros).

2. MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho, utilizou-se a técnica estatística de regressão linear múltipla, relatada por Klering et al. (2008) e Rojas (1991), para identificar e avaliar a relação existente entre as variáveis agroclimáticas e a produtividade do arroz na Região oeste do Estado do Rio Grande do Sul. Nesta técnica, supõe-se que há uma relação linear, ou aproximadamente linear, entre as variáveis independentes (variáveis climáticas) e a variável dependente (representada pela produtividade) e que é possível selecionar um subconjunto mais significativo entre as variáveis climáticas disponíveis para realizar a previsão da produtividade. O período de análise inicia no mês de setembro, quando ocorre o preparo do solo para a semeadura, e encerra-se no mês de abril, quando ocorre a colheita. A data inicial varia conforme as condições climáticas, e os meses inicial e final foram selecionados conforme o zoneamento agroclimático para região (IRGA, 2018). As etapas necessárias para cumprir a estratégia adotada serão descritas ao longo desta seção. Para melhor entendimento, apresenta-se o fluxograma contendo as etapas resumidamente (Figura 1).

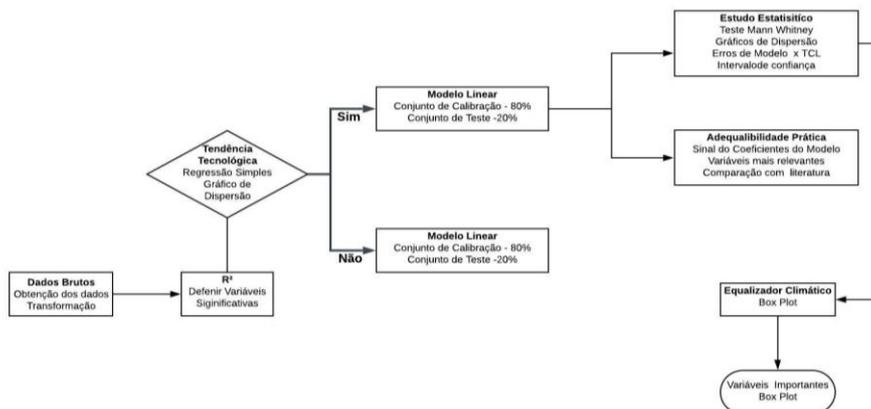


Figura 1 – Fluxograma que ilustra as etapas do tratamento estatístico realizado desde a coleta dos dados brutos até a obtenção das variáveis mais importantes (indicadores climáticos).

2.1 ÁREAS DE ESTUDO

A área de estudo compreende o município de Uruguaiana/RS, situado no extremo oeste do Rio Grande do Sul, com área total de 5.713,6 km². A localização espacial do município é ilustrada na figura 2. Nessa região, de acordo com Alvarez et al. (2014), o clima é temperado úmido com verões quentes (Cfa). A precipitação média anual é de 1.346,0 mm (MALUF, 2000), sendo o mês de abril com maior volume de precipitação (183,6 mm) e o mês mais seco é agosto (83,5 mm) (MATZENAUER et al., 2011). A temperatura média de Uruguaiana é de 20°C, sendo o mês mais quente (frio) janeiro (julho) com temperatura média máxima (mínima) de 26,3°C (13,9°C). É importante salientar que o município possui como característica climática maior disponibilidade de radiação solar durante os meses de verão, que contribui para o desenvolvimento do cultivo do arroz. Associado a outros fatores climáticos, o município está entre os mais produtivos do Estado, além de ser o maior produtor de arroz do Brasil com 81.555 ha de área colhida (IBGE, 2017).

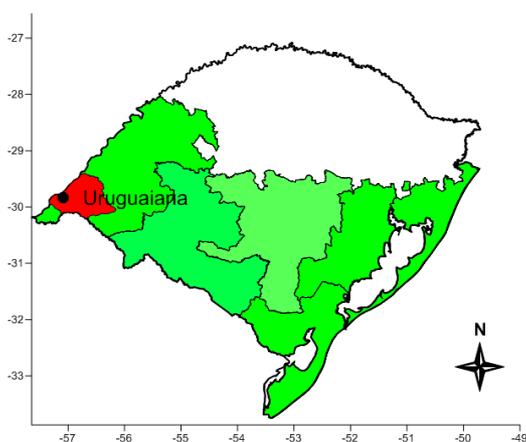


Figura 2 - Área de estudo município de Uruguaiana no Rio Grande do Sul, em vermelho. Área em verde indica região de cultivo de arroz irrigado no Estado do Rio Grande do Sul.

2.2 DADOS

Foram obtidos dados climatológicos mensais de setembro a abril, durante

o período de 33 anos (1984-2017), das seguintes bases de dados:

(i) Médias mensais de temperatura máxima e mínima (C), número de dias com temperatura crítica mensal menor ou igual a 15° C, para temperaturas mínimas e maior ou igual a 35° C para temperaturas máximas, provenientes da estação meteorológica do 8º Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia (8º DISME/INMET), localizada na latitude 29.75°S, longitude 57.08°W e 63.31 m de altitude; Ressalta-se que estes limiares de Temperatura Crítica foram definidos nos trabalhos de Steinmetz et al. (2001) e Guimarães et al. (2002);

(ii) Anomalias mensais de temperatura da superfície do mar (TSM) nas regiões 1+2, 3.4 e 4, disponibilizados pelo site JapanMeteorologicalAgency <http://ds.data.jma.go.jp/tcc/tcc/products/elnino/index/>;

(iii) Dados mensais de precipitação acumulada, cobertura de nuvens e radiação média global, fornecidos através da reanálise do projeto Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, version 2 (MERRA-2). Este conjunto de dados foi produzido pelo Escritório Global de Modelagem e Assimilação (GMAO) da NASA, que desenvolveu a assimilação do conjunto de observações em um Modelo de Circulação Geral da Atmosfera (MCGA) acoplado ao sistema de análise do Sistema Goddard Earth Observing (GEOS) (GELARO et al., 2017). Os produtos MERRA-2, com resolução de 0,5° latitude x 0,5° longitude está disponível no site <http://disc.gsfc.nasa.gov/> no Centro de Serviços de Informações de Dados da NASA Goddard Earth Sciences (GES DISC). As alternativas de utilização de dados climáticos de sistemas de reanálise têm se tornado cada vez mais usual em regiões onde há ausência dos registros de dados históricos;

(iv) Os dados mensais de produtividade do arroz irrigado, do mesmo período do estudo, são pertencentes do Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA).

A partir destes dados selecionados foram estabelecidas as variáveis predictoras, de acordo com a tabela 2.

Tabela 2 – Lista das variáveis utilizadas no modelo de regressão.

Fonte (i)	Fonte (ii)	Fonte (iii)	Fonte (iv)
Média_Temp_Min (C)	Niño3+4 (C)	Nebu (décimos)	Produtividade (kg/ha)
Média_Temp_Max (C)	Niño1.2 (C)	Prec_Merra (mm)	
Temp_Min_Abs (C)	Niño4 (C)	Rad_Merra (W/m ²)	
Temp_Max_Abs (C)			
Temp_Critica<=14 (C)			
Temp_Critica>=35 (C)			

2.3 REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA

Para identificar as variáveis climáticas que mais impactam os altos e baixos rendimentos agrícolas se utilizam as combinações entre os registros históricos climáticos e de produtividade. Nesse sentido, este trabalho utiliza o método de regressão linear múltipla para encontrar as melhores variáveis climáticas para prever às produtividades do arroz na região de Uruguaiiana.

Inicialmente, a partir das informações climáticas abordadas neste estudo foram selecionadas as variáveis com maior (menor) impacto na previsão da

produtividade, mensurado pelo coeficiente de determinação R^2 (pred). Essa medida estatística está presente nas ferramentas para análise de regressão linear do Minitab 15 (ou outros softwares estatísticos similares) e constitui um parâmetro para determinar a capacidade do modelo ajustado prever as respostas para novas observações. O coeficiente R^2 é utilizado para comparar o grau de relacionamento das regressões entre duas ou mais variáveis. Quanto mais próximo de 1 for o R^2 , mais próximas as observações da previsão. A estimativa de R^2 é particularmente sensível para o número de amostras, especialmente no conjunto de validação e quantifica a qualidade dinâmica do modelo. Nesse sentido, foi determinado o melhor subconjunto indicado com maior R^2 preditor para determinação da equação de regressão com os respectivos coeficientes.

Em uma segunda etapa, a tendência tecnológica foi extraída de acordo com o trabalho de Klering et al. (2008). Essa extração é importante pois parte dos aumentos nos rendimentos da produção agrícola podem ser decorrentes dos avanços das tecnologias utilizadas durante as etapas da produção do arroz (MATZENAUER et al., 2002; BERGAMASCHI et al., 2004).

A partir da equação (1), foi realizado um ajuste do Modelo de Regressão Linear Múltipla, formulada como:

$$Y_i(t) = \beta_0 + \beta_1 x_1(t) + \beta_2 x_2(t) + \dots + \beta_k x_k(t) \quad (1)$$

onde: (Y_i) , $i = 1, \dots, k$ é o valor estimado pela equação para cada ano (t), β_0 é um valor constante, (β_i) são os coeficientes de regressão para cada uma das variáveis independentes (x_i) . Por meio da equação (1) e um código em *MatLab*, realizaram-se 2000 ajustes do Modelo de Regressão Linear Múltipla para determinar os k β_i . Em cada ajuste, utilizaram-se 80% dos dados relativos aos 33 anos, selecionados de forma aleatória. Ao final, tomou-se a média dos 2000 ensaios como o melhor conjunto de β_{is} .

Outra métrica de desempenho utilizada neste trabalho é o teste de igualdade de distribuição de probabilidade, denominado de Mann-Whitney, entre as produtividades reais e as previstas pelo modelo linear. Em termos estatísticos, havendo valor $p > 0,05$ (ao nível de confiança de 5%), significa dizer que as produtividades geradas pelo modelo são representativas das produtividades reais, e o modelo aproxima-se da situação real. Nesse teste, a hipótese nula é aquela em que as amostras vêm da mesma população, contra a hipótese alternativa de que uma das amostras tende a apresentar valores frequentemente maiores que a outra. Se o valor $p < 0,05$, rejeita-se a hipótese nula.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 2 apresenta os resultados encontrados para a equação de regressão linear múltipla. O resultado do método selecionou 19 variáveis, sendo que as que apresentam os coeficientes mais significativos (em módulo) foram: as anomalias da TSM na região do Niño 3.4 (NINO34) e 1+2 (NINO1+2), a precipitação mensal (PREC) e a cobertura de nuvens (NEBU). No entanto, é importante ressaltar que variáveis como a radiação global (RAD_GLO), apesar de apresentar valores pequenos de β , a magnitude da variável é elevada (próximo a 1000 W/m^2) que, multiplicado pelo valor de β contribui para o aumento da produtividade. Os valores médios dos coeficientes (β_0), desvio

padrão dos coeficientes (σ_o), a razão entre o coeficiente e o desvio padrão (γ_o) foram 1626,9, 1399,7 e 1,16, respectivamente. O valor pequeno de γ_o indica que a variabilidade da série ficou próxima do valor médio.

É possível identificar que, no período vegetativo (SET a DEZ) as variáveis que mais impactam o período do cultivo foram, por ordem de magnitude de valor do Coeficiente (β), Nino3.4, NINO1+2, PREC e NEBU. Ressalta-se nesse período os sinais opostos de β entre as variáveis NINO3.4 e NiNIO1+2. Esse fato indica que, para anos de El Niño (La Niña), o mês de outubro com águas anormalmente quentes (frias) na região NINO3.4 do Pacífico Central favorecem (desfavorecem) a produtividade na região de Uruguaiana, enquanto que, para os meses de setembro e novembro, ocorre o oposto. O mesmo padrão também se observa na região da costa do Peru (NINO1+2), porém com valores de β menores em magnitude. Os índices climáticos se constituem em variáveis valiosas para tomada de decisão, em escalas locais e regionais (MAIA et al., 2008).

Além dessas variáveis, a precipitação nos meses de setembro e outubro e a nebulosidade em setembro e novembro, além das temperaturas elevadas em outubro, também contribuem para o aumento da produtividade. Entre o final do período vegetativo e o reprodutivo, durante o mês de janeiro, as variáveis mais impactantes são a nebulosidade (JAN) e a radiação global. Nesse período, ressalta-se a importância da radiação global para essa fase da cultura. Durante o período reprodutivo (FEV) a incidência de radiação solar também é um fator importante para a definição dos componentes da produtividade, porém dias frios ($\beta < 0$) podem comprometer a produtividade nessa fase.

No final do período reprodutivo e início da colheita as anomalias de TSM no NINO3+4 voltam a ter um papel importante na redução (MAR) e aumento (ABR) da produtividade. No mês de abril, chuvas prejudicam e temperaturas elevadas favorecem colheita do arroz. Esta correlação precipitação favorecer a colheita ocorreu o contrário que se esperava. Pode ser explicado por dois motivos: nestes meses podemos ter períodos longos sem precipitação que favorecem a rapidez na colheita. Porém no final do mês de abril podemos ter extremos de chuva com volumes superando a média climática em poucos dias, mas já se realizou toda a colheita em março devido a antecipação do plantio. Em abril resta uma pequena parcela a ser colida sem grandes interferências na produtividade, o que leva esse direcionamento na análise da precipitação. Também podem ser os primeiros indicativos das mudanças climáticas.

Ressalta-se que os resultados encontrados no mês de abril (estágio final da cultura) não são significativos pois, além de mostrar valores de β baixos (comparados com o início da safra, os valores do desvio padrão (σ) e o erro padrão (γ) são elevados.

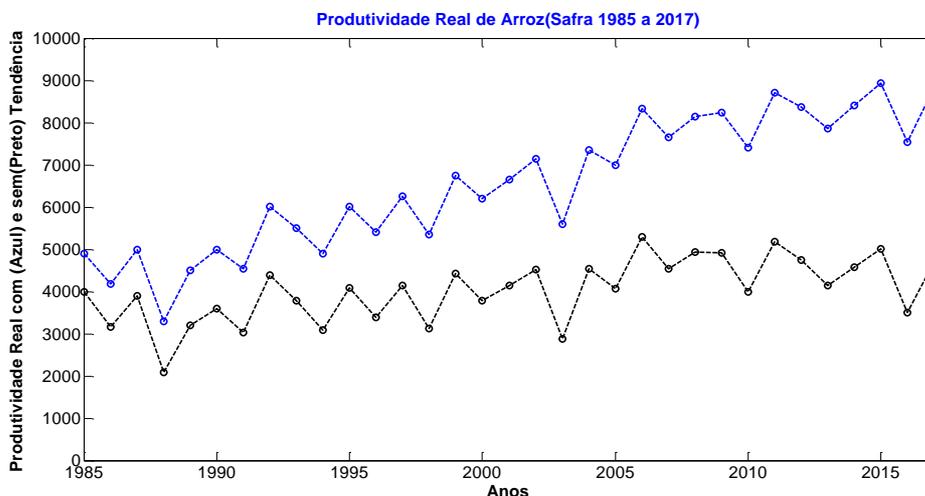
O sumário do modelo é dado pela análise da estimativa de R^2 , R^2 ajustado ($R^2(aj)$) e R^2 previsto ($R^2(pred)$). Os valores de R^2 ajustado $R^2(aj)$ encontrados, 96,20 % e 90,24 %, respectivamente, mostram que o modelo se ajustou tanto para a série completa dos dados como também para a série de ajuste (80% da série de dados). O valor encontrado de $R^2(pred)$ foi de 81,22 %, indicando que o modelo se ajustou a série prevista. Em resumo, o modelo se adaptou aos dados de amostra e, por conseguinte, configurou-se útil para fazer previsões às novas observações.

Tabela 2 – Valores dos coeficientes médios (β), Desvio Padrão dos Coeficientes (σ), a razão entre o Coeficiente e o Erro Padrão (γ), para cada termo da equação linear múltipla obtida para os estágios Vegetativo (VEG), Vegetativo/Reprodutivo (VRE), Reprodutivo (REP), Reprodutivo/Colheita (RCO) e Colheita (COL).

Estágios	VEG						VRE			REP			RCO			COL									
	SET			OUT			NOV			DEZ			JAN			FEV			MAR			ABR			
Meses	β	σ	γ																						
NINO3.4	-2285	685,4	-0,30	2733	1365,0	0,50	-789,4	1002	-1,27							-417,5	394,3	-0,94	154,2	365,8	2,37				
NINO1+2	-684,6	515,2	-0,75	846,3	668,3	0,79	-385,4	568,6	-1,48																
PREC	351,9	189,5	0,54	367,2	152,0	0,41																132,1	197,0	1,49	
NEBU	27,9	197,1	7,07				327,0	209,0	0,64				253,7	247,0	0,97										
TMAX_MED																							-29,4	166,6	-5,67
TCRIT_14																-118,7	168,6	-1,42							
TMAX_ABS				284,1	156,1	0,55																			
RAD_GLO													127,5	231,2	1,81	348,3	176,2	0,51							

Para avaliar somente a interferência climática na produção do arroz, foi retirada a tendência tecnológica embutidas no rendimento durante o período de estudo (Fig. 3a). A produtividade real (linha azul) da série climatológica pode ser dividida em 3 períodos. No primeiro período de 1985 a 1994, associado com a instabilidade econômica, constatou-se que a produtividade média esteve em torno de 4.8 t/ha. No período de 1995 a 2004, onde o Brasil obteve uma maior estabilidade econômica, a produtividade passou para 6.3 t/ha. No último período o analisado, de 2004 a 2017, ocorreu a implementação do PROJETO 10 (MENEZES et al., 2012) pelo IRGA, que visou a estratégia de manejo para o aumento da produtividade e da sustentabilidade da lavoura de arroz irrigado do Rio Grande do Sul, a média atingiu 8.1 t/ha. Verificou-se que o crescimento médio da produtividade após a estabilidade econômica do plano real foi de 1.5 t/ha e o crescimento após o PROJETO 10 foi de 1.8 t/ha. Com a retirada da tendência tecnológica (linha preta da figura 3a) é possível identificar que é excluído o avanço tecnológico em todos os anos (mais acentuando nos anos finais, devido ao seu caráter cumulativo), o que faz baixar as produtividades, dando indícios de que a série está posicionada em uma faixa horizontal, com variabilidade parcialmente explicável em função das variáveis climáticas. As produtividades, depois de deduzida a tendência tecnológica, foram utilizadas para calibrar o modelo de regressão linear que será apresentado na próxima subseção.

A figura 3b apresenta a comparação entre a safra registrada e prevista pelo modelo de regressão linear múltipla, após os 2000 ensaios. Em uma primeira análise é possível identificar uma boa concordância entre as séries, principalmente a partir do terceiro período analisado (exceto nos anos de 2012 e 2013). A análise destas figuras também sugere que a série gerada pelo modelo descreve adequadamente o comportamento da série real de produtividade, no entanto, há estratégias e ferramentas para avaliar se há subsidio teórico a garantir esta conjectura, ou que possibilite avaliar a capacidade do modelo em realizar previsões para as próximas safras. Na próxima subseção será proposta uma discussão com viés estatístico para avaliar o modelo, no sentido de discutir sua capacidade preditiva, e de auxiliar os produtores na tomada de decisões.



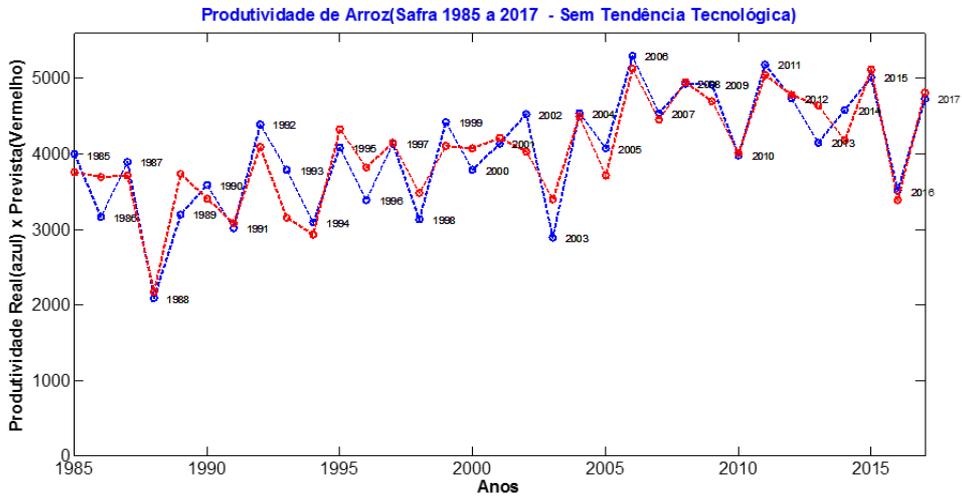


Figura 3 - Produtividade anual (kg/ha) da safra de arroz registrada entre os anos de 1985 e 2017 (a) com (linha azul) e sem (linha preta) a tendência tecnológica, (b) comparação entre a safra registrada (linha azul) e prevista (linha vermelha) pelo modelo de regressão linear múltipla

3.1 ESTUDO ESTATÍSTICO

Para avaliar se a série de produtividade gerada pelo modelo vem de uma mesma população que a série real de produtividade, realizou-se o teste estatístico de Mann-Whitney. O valor p encontrado entre a produtividade sem tendência observada e a estimada é de 0,959 (maior que 0,05). Esse valor indica que o modelo estima com eficiência (95,03 % de confiança atingida) a produtividade e o intervalo de confiança para esta diferença é estimado com cerca de 300 kg/ha (-261,923; 278,484), ou seja, a produtividade estimada está a menos de 300 kg/ha da produtividade real. A figura 4 apresenta outra estratégia para avaliar a eficácia do modelo, que constitui uma de espectro das 2000 regressões utilizadas para calibrar os β_{is} da Tabela 2. Com isso, é possível intuir sobre a faixa de valores estimados para as produtividades de cada ano, de 1985 a 2017, e confrontar com as produtividades reais da série em azul ao centro. Se verificou que somente quatro anos, 1990, 2002, 2009 e 2014 ocorreram erros de viés, onde era previsto diminuição de safra comparada com o ano anterior, no entanto houve um aumento.

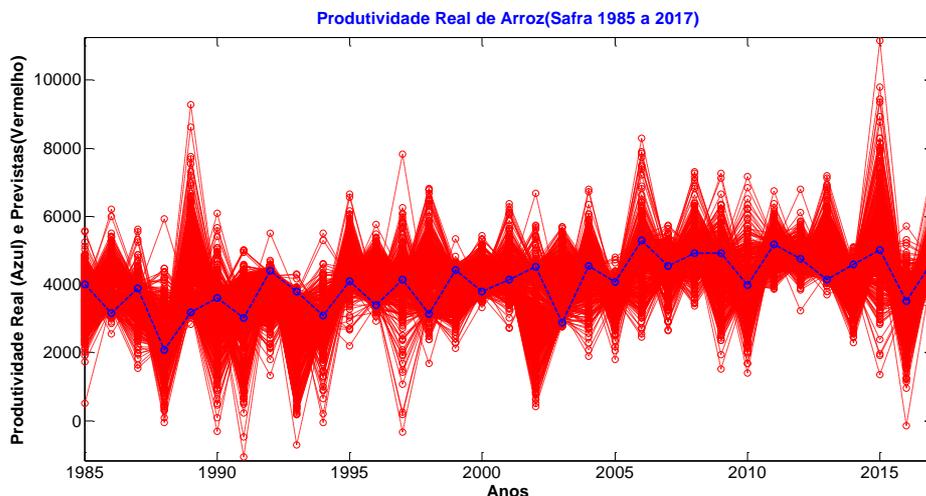
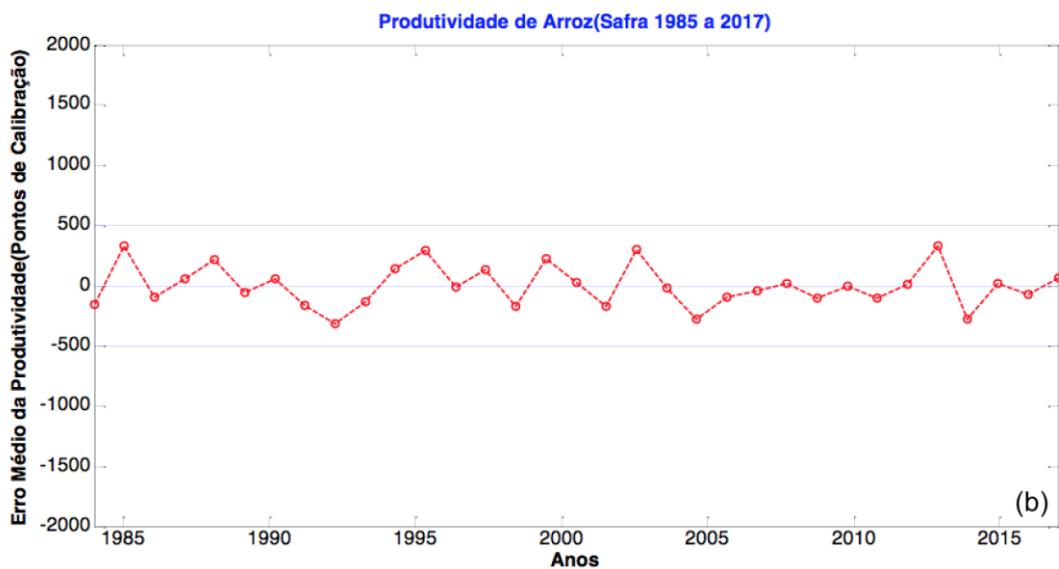
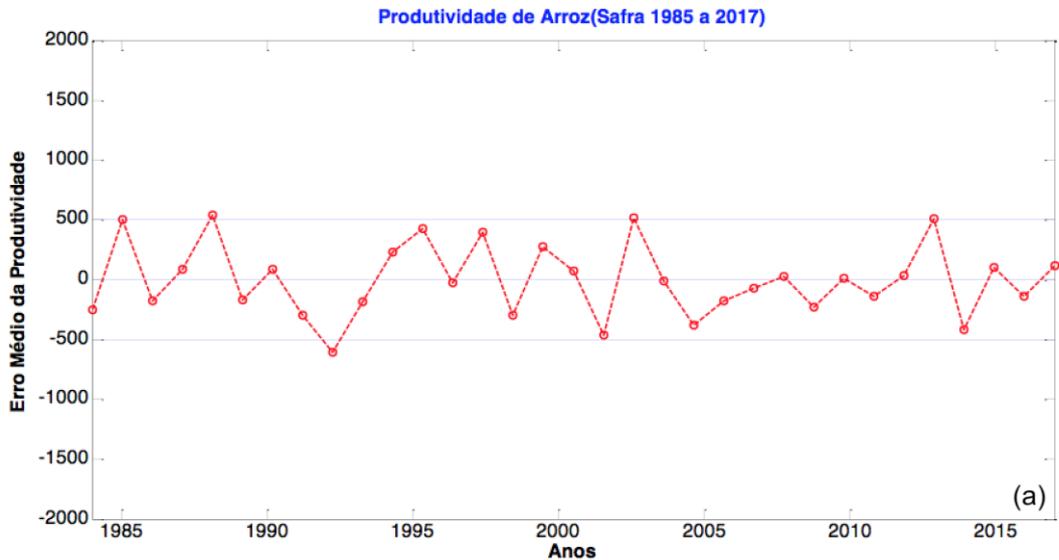


Figura 4 - Produtividade anual (kg/ha) sem tendência da safra de arroz registrada entre os anos de 1985 e 2017 (linha azul) e o espectro das 2000 regressões utilizadas para calibrar o modelo de regressão linear múltipla.

A figura 5 apresenta o desvio médio das produtividades previstas em torno das respectivas produtividades reais para cada ano do banco de dados. Nota-se na figura 5a que os erros médios não estão mais distantes de que 500kg/ha para cada ano, com efetividade maior após o ano de 2005. Considerando somente os anos usados para determinar os β_{is} , o erro médio é menor (Fig. 5b) corroborando o intervalo de confiança apontado pelo teste de *Mann Whitney*. É desejável que o modelo estime a produtividade para os próximos anos, ou seja, pretende-se determinar o potencial preditor da regressão linear múltipla e, para isso, pode-se observar o erro médio para os anos, quando estiveram entre os 20% não utilizados para calibrar os β_{is} , conforme consta na figura 5c. Observa-se nessa figura que o maior erro médio ocorreu entre 1985 e 1993, chegando próximo aos 2000 kg por hectare. Por outro lado, o erro médio foi menor nos anos finais, possivelmente devido à redução da produtividade em razão dos avanços tecnológicos, veja a figura 3a. Sendo que 1988, 1991 e 1993 foram os únicos anos que registraram 5 dias com temperatura igual ou menor que 15°C em fevereiro. A safra de 1993 (3789 kg/ha) foi considerado o 11º ano menos produtivo. Com a análise observacional se buscou identificar o que estes 3 anos (1988, 1991, 1993) têm em comum. Se constatou que foram meses de fevereiro secos em 1988 (5,2mm), 1991 (40,2mm) e 1993 (17,4mm), com média mensal de 42mm. Em relação a cobertura de nuvens foram de baixa nebulosidade em 1988 (3,2 décimos), 1991 (2,5 décimos) e 1993 (2,7 décimos), com média mensal de 3,7 décimos). Na variável radiação solar, 1988 (256 W/m²), 1991 (264 W/m²) e 1993 (253 W/m²), com média mensal de 232 W/m². Na variável radiação solar global se observa uma contradição segundo as exigências climáticas para a cultura do arroz irrigado. Nos meses de dezembro, janeiro, fevereiro, sendo parte da fase reprodutiva em que a cultura do arroz necessita de alta disponibilidade de radiação (STEINMETZ, 2004; KLERING, et al., 2008). As altas radiações no mês de fevereiro levam a uma correlação falsa, que pode ser explicada pelo fato de que em dias muitos ensolarados ocorrem perda radiativa durante a noite pela falta de nebulosidade. Isso pode causar temperaturas críticas menores que 15,0°C, ocasionando esterilidade de espiguetas no período reprodutivo sendo

prejudicial no desenvolvimento dos grãos de arroz, (STEINMETZ, 2004; SOSBAI, 2018).

Um outro erro observacional foi no ano de 1993, onde o ajuste do Modelo de Regressão Linear Múltipla teve maior erro na capacidade preditiva. Isto deve-se ao fato que (?) a resposta do modelo nunca será ou estará em um único indicador. Por isso é importante avaliar os preditores em outros meses.



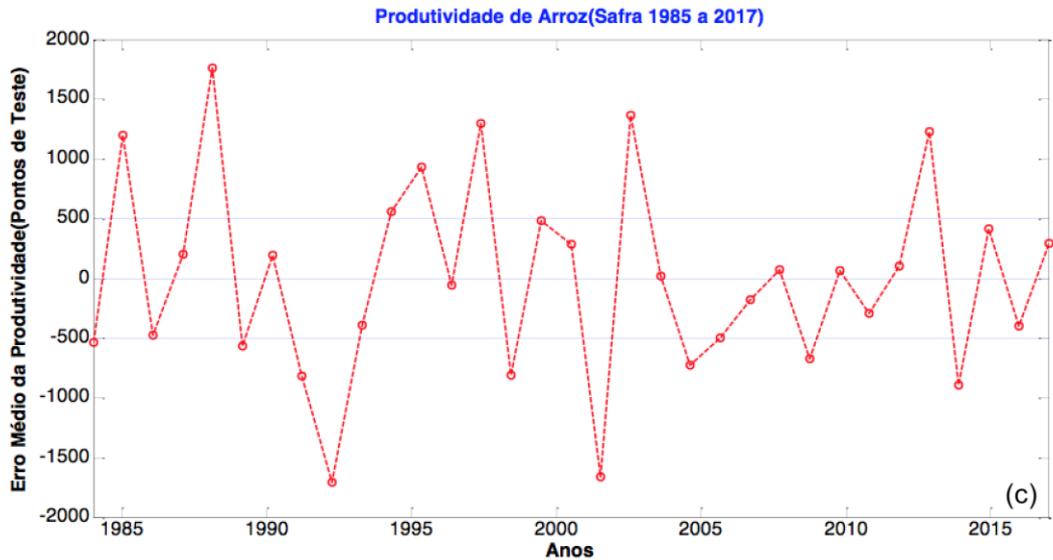


Figura 5 – Diferença entre a produtividade anual (kg/ha) prevista e real (registrada) da safra de arroz registrada entre os anos de 1985 e 2017 para toda a série (a), o período de calibração (b) e o período de testes (c).

A figura 6 apresenta a distribuição das variáveis predictoras do modelo de regressão através de boxplots visando identificar como os padrões climáticos influenciaram a produtividade do arroz irrigado em Uruguaiana/RS. Para isso, os eventos de cultivo foram classificados em anos de alta produtividade (maior que o ano anterior e que o ano seguinte) e baixa (menor que o ano anterior e que o ano seguinte). Em uma primeira análise, é possível observar uma interseção entre anos de alta e baixa produtividade na maioria das variáveis. No entanto, deve-se observar anos extremos com impactos positivos e negativos através dos valores que se encontram fora da interseção (outliers), que podem indicar a perda ou ganho de produtividade, para cada variável, nos seus respectivos meses de atuação. Um exemplo dessa situação é a precipitação do mês de outubro (PREC_MERRA_10). Nesta situação o aumento da precipitação provoca redução da produtividade, mas o valor da mediana é maior nos casos de maior produtividade, indicado uma concentração de anos com maior produtividade (em relação ao ano anterior) com precipitação mais elevada. A mesma relação pode ser observada em outras variáveis. Esse fato indica a dificuldade para identificar anos com alta ou baixa produtividade através deste tipo de análise.

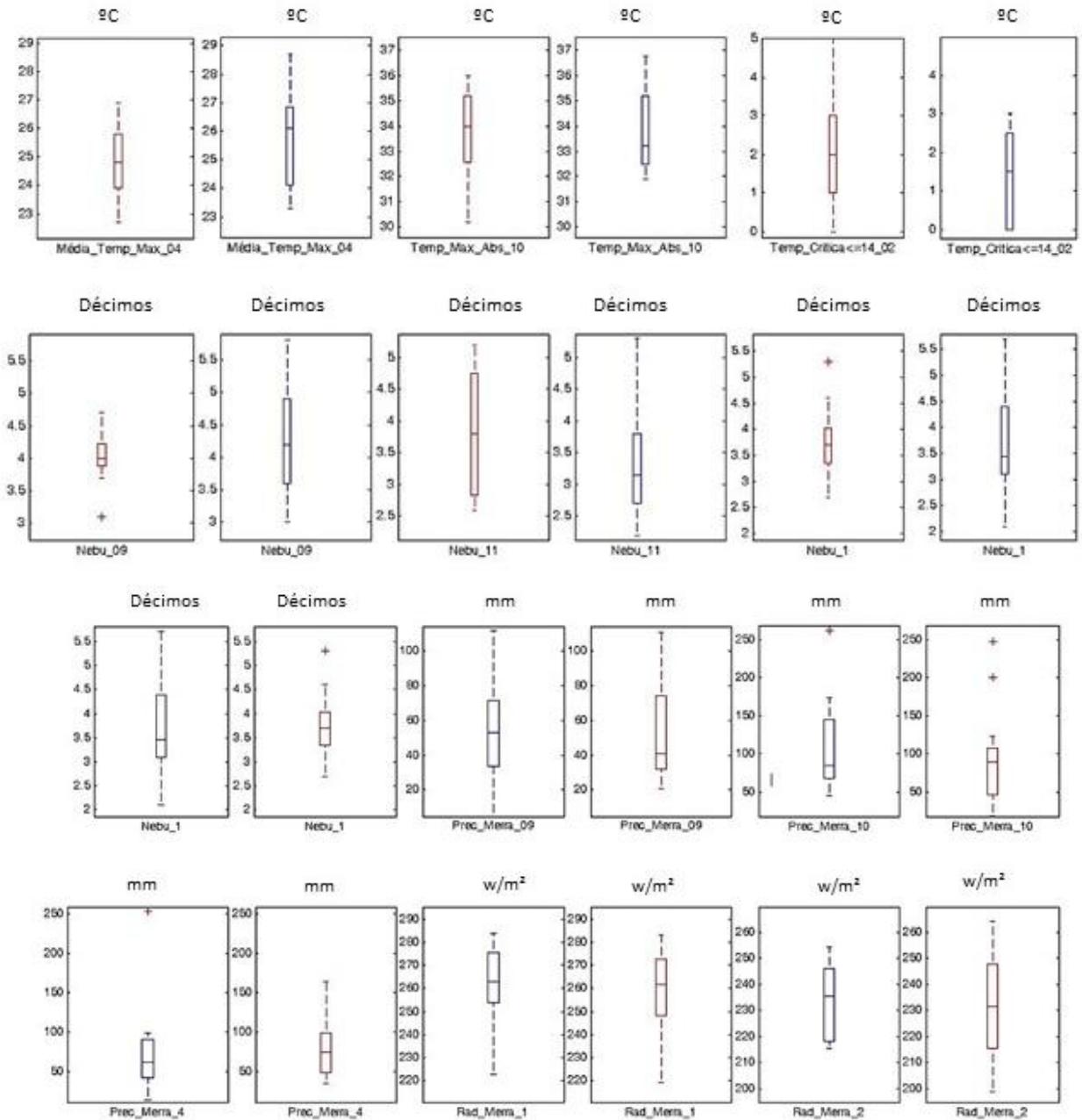


Figura 6 – Boxplots das variáveis do modelo de regressão para anos de baixa (boxplots vermelho) e alta (boxplots azul).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Visando avaliar os fatores agroclimáticos que podem explicar a variabilidade de rendimento durante o cultivo do arroz irrigado na região de Uruguiana, este trabalho identificou as principais variáveis climáticas através da aplicação do método de regressão linear múltipla. Os indicadores encontrados no artigo identificaram as variáveis agroclimáticas que mais afetam

a planta durante cada estágio no cultivo do arroz irrigado na região de Uruguaiana/RS. Estas combinações dos indicadores agroclimáticos chegaram a explicar 81,22% da variação nos rendimentos do arroz irrigado. Em função destes resultados, algumas considerações são discutidas nesta seção.

No período vegetativo (SET a DEZ) as variáveis que mais impactam o período do cultivo são, por ordem de magnitude de valor dos coeficientes de regressão, Niño3.4, Niño1+2, PREC e NEBU. Entre o final do período vegetativo e o início do reprodutivo (JAN e FEV), as variáveis mais impactantes são a nebulosidade e a radiação solar global. As anomalias de TSM no NINO3+4 mostram um papel importante, durante o final do período reprodutivo e início da colheita, na redução (MAR) e aumento (ABR) da produtividade. Durante a colheita (ABR), as chuvas prejudicam e temperaturas elevadas favorecem a colheita do arroz. Nesse sentido, se verificou que a integração das variáveis agroclimáticas, geradas por diferentes fontes de dados das estações meteorológicas em superfície com dados de fontes alternativas (como a técnica de reanálise Merra 2), principalmente quando não há dados observados disponíveis, é uma forma que apresenta resultados satisfatórios.

Com a retirada da tendência tecnológica a produtividade prevista se aproxima da observada, com variabilidade parcialmente explicável em função das variáveis climáticas. No teste estatístico de *Mann-Whitney* o valor p encontrado entre a produtividade observada e a estimada é de 0,959, com intervalo de confiança estimado de aproximadamente 300 kg/ha. A análise das séries mostra que, enquanto nos primeiros anos do estudo as séries apresentam diferenças significativas entre as produtividades, a partir da ampla adoção da tecnologia nas propriedades através do PROJETO 10 (MENEZES et al. 2012) pelos produtores, e da estabilidade econômica, o modelo de previsão de safra diminui o erro de previsão de produtividade.

Corroborando resultados anteriores de Guimarães (2013) e Berlato e Fontana (2011), observou-se durante o período de estudo, uma forte influência de oito episódios do fenômeno ENOS na produtividade do arroz de Uruguaiana, sendo três episódios da fase positiva (El Niño) e cinco da fase negativa (La Niña). Entre os parâmetros analisados, a região do Niño 3.4 é a que mais impacta a safra de forma positiva ou negativa. A precipitação na região de estudo também é um parâmetro importante para a produtividade do arroz. No entanto, principalmente durante os meses de setembro e outubro, é necessário tomar cuidado com os coeficientes positivos que podem direcionar para interpretações erradas. Nestas situações, os efeitos dos volumes altos de precipitação causam perda total da lavoura, podendo ser atenuados pelo replantio, o que dificulta as práticas dos modelos de regressão.

Durante o período reprodutivo (FEV), a produtividade é afetada de forma inversa pela radiação global (coeficiente positivo) e pelo número de dias com temperatura crítica inferior ou igual a 15,0°C (coeficiente negativo). Esse fator mostra que, nesse período, é necessário ocorrer incidência significativa de radiação global durante vários dias para que ocorra o aumento de produtividade enquanto a ocorrência de vários dias frios provoca de forma significativa a redução na produtividade. Outro fator que chama atenção são os coeficientes no mês de abril por serem de extrema importância na consolidação da safra (período de colheita). Apenas no resultado de coeficiente positivo do aumento da precipitação, não se verificou na literatura uma explicação que possa

esclarecer o aumento da precipitação que provoque o aumento de produtividade. No entanto, é importante ressaltar que esses valores de coeficientes são baixos e, por isso, não influenciam significativamente a produtividade como nas demais fases da cultura.

Não é fácil distinguir entre a influência das práticas agrícolas e a influência climática. Portanto, os indicadores climáticos servem para simplificar uma grande quantidade de dados e identificar as variáveis climáticas em um “quadro geral” que mais impactam uma atividade, em especial agrícola, frente as emergências climáticas. Como resultado final, este trabalho mostra que as informações geradas pelos indicadores agroclimáticos podem ser úteis para o produtor de arroz irrigado na Região Sul do Brasil, com meses de antecedência e durante uma atividade agrícola. Assim, poderá avaliar os efeitos e consequências de eventos climáticos. Este trabalho sugere usar os pontos fortes das variáveis agroclimáticas e suas interações e não usar uma única fonte de informação. Além disso, essa técnica pode ser expandida para demais culturas agrícolas, bem como, ser aplicada em outras áreas, social e econômica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BASUALDO, A. 2015. Manual de buenas prácticas para la generación, el almacenamiento y la difusión de información climática en instituciones y organismos del MERCOSUR. São José, ILCA, 82p.

BEN-ARI T; Adrian J; Klein T; Calanca P; Van der Velde M & Makowski D. 2016. Identifying indicators for extreme wheat and maize yield losses. *Agricultural and Forest Meteorology*, 220 130–40

BERLATO, M.A. & Fontana, D.C. 2011. El Nino e a agricultura da Região Sul do Brasil. Disponível em: <<http://www.cnpt.embrapa.br/pesquisa/agromet/agromet/elninolanina/elnino2.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2018).

CARMONA, L.C.& Berlato, M.A. 2002. El Niño e La Niña e o Rendimento do Arroz Irrigado no Estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 10(1): 147-152.

CARLETON, T.A. & Hsiang, S.M. 2016. Social and economic impacts of climate. *Science*, 353(6304):1-15.

CIAIS, Ph.; Reichstein, M.; Granier, A.; Ogée, J.; Allard, V.; Aubinet, M.; Buchmann, N.; Bernhofer, Chr.; Carrara, A.; Chevallier, F.; De Noblet, N.; Friend, A.D.; Friedlingstein, P.; Grünwald, T.; Heinesch, B.; Keronen, P.; Knohl, A.; Krinner, G.; Loustau, D.; Manca, G.; Matteucci, G.; Miglietta, F.; Ourcival, J.M.; Papale, D.; Pilegaard, K.; Rambal, S.; Seufert, G.; Soussana, J.F; Sanz, M.J.; Schulze, E.D.; Vesala, T. & Valentini, R. 2005. Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. *Nature*, 437(7058):529–533.

DELERCE, S.; Dorado, H.; Grillon, A.; Rebolledo, M.C; Prager, S.D; Patiño, V.H.; Varón, G.G & Jiménez, D. 2016. Assessing weather-yield relationships in rice at local scale using data mining approaches. *PLoS ONE*, 11(8): e0161620.

GELARO, Ronald, et al. The modern-era retrospective analysis for research and applications, version 2 (MERRA-2). *Journal of Climate*, 2017, 30.14: 5419-5454.

GUIMARÃES C.M.; Fageria N.K. & Barbosa Filho M.P. 2002. Como a planta de arroz se desenvolve. *Informações Agrônomicas do Arquivo do Agrônomo – POTAFOS*, 99(13):1-12.

GUIMARÃES, J. 2013. Influência do fenômeno ENOS na variabilidade climática da região orizícola Zona Sul do RS. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/92623/Poster_31599.pdf?sequence=2>. Acesso em: 5 jan. 2018.

HLPE. 2012. La seguridad alimentaria y el cambio climático. Un informe del Grupo de alto nivel de expertos en seguridad alimentaria y nutrición del Comité de Seguridad Alimentaria Mundial. Roma, 115p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2017. Rio Grande do Sul: Uruguaiana: produção agrícola municipal - lavoura temporária – 2015. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/uruguaiana/pesquisa/14/0?tipo=ranking&indicador=10224>> Acesso em: 4 dez. 2017.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2004. Indicadores agropecuários 1996-2003. Rio de Janeiro, IBGE, 67p.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Ato Portaria Nº 37 de 21 de julho de 2017, Porto Alegre. 26p. Disponível em: <<https://irga.rs.gov.br/upload/arquivos/carga20180500/09110001-20170911140105portaria-zarc-para-arroz-irrigado.pdf>>. Acesso em: 5 fev. 2018.

JUNTA DE ANDALUZIA. Sistema de Indicadores Climático Ambientales. Disponível em <http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/rediam/menuitem.04dc44281e5d53cf8ca78ca731525ea0/?vgnnextoid=a7c613696f8bd110VgnVCM1000001325e50aRCRD&vgnnextchannel=5db803d78270f210VgnVCM2000000624e50aRCRD&vgnnextfmt=rediam&lr=lang_es> Acesso em: 10 nov.2017.

KLERING, E. V.; Fontana, D. C.; Berlato, M. A. & Cargnelutti Filho, A. 2008. Modelagem agrometeorológica do rendimento de arroz irrigado no Rio Grande do Sul. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 43: 549-558.

KLERING, E.V.; Fontana, D.C.; Roglio, V.S.; Alves, R. de C.M. & Berlato, M.A. 2016. Modelo agrometeorológico-espectral para estimativa da produtividade de grãos de arroz irrigado no Rio Grande do Sul. *Bragantia*, 75:247-256.

LOPES, S.I.G. & Breseghello, F. 2015. Aceleração do ganho genético para produtividade e outras características-chaves para a competitividade da cultura de arroz irrigado. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DO ARROZ PARA AMÉRICA LATINA E CARIBE, 12, Porto Alegre, 2015. Horizonte para a competitividade: anais. Porto Alegre: IRGA, 5p.

MALUF, J.R.T. 2000. Nova classificação Climática para o Estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 8(1):141-150.

MATZENAUER, R.; Radin, B. & Almeida, I.R de. 2011. Atlas Climático: Rio Grande do Sul. Porto Alegre, FEPAGRO, 185p.

OMM,2014 - Organización Meteorológica Mundial. Directrices de política nacional para la gestión de sequías: Modelo para la adopción de medidas. Ginebra

(Suíça) y GWP, Estocolmo (Suécia). Disponível em: <https://www.droughtmanagement.info/literature/GWP-WMO_IDMP_NDMPG_2014_es.pdf>. Acesso em 10 jan. 2018

SINTEF. 2013. Big data, for better or worse: 90% of world's data generated over last two years. ScienceDaily. Disponível em: <www.sciencedaily.com/releases/2013/05/130522085217.htm>. Acesso em 20 mai.2017

SOSBAI - Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. 2018. Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o sul do Brasil. Farroupilha, SOSBAI, 209p.

STEINMETZ, S. & Braga, H.J. 2001. Zoneamento de arroz irrigado por épocas de semeadura nos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Revista Brasileira de Agrometeorologia, 9(3): 429-438.

STEINMETZ, S. 2004. Influência do clima na cultura do arroz irrigado no Rio Grande do Sul. In: Gomes, A.S.; Magalhães JR.A.R. Arroz irrigado no Sul do Brasil. Brasília: Embrapa, p.45-74.

VAN DER VELDE, M.; Tubiello, F.N.; Vrieling, A. & Bouraoui, F. 2012. Impacts of extreme weather on wheat and maize in France: evaluating regional crop simulations against observed data. Climatic change 113:751-765.