

AVALIAÇÃO DE MODELOS AGROMETEOROLÓGICOS NA ESTIMATIVA DE PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO MILHO

Taise Cristine Buske¹, Adroaldo Dias Robaina², Marcia Xavier Peiter³, Bruna Dalcin Pimenta⁴, Elisa de Almeida Gollo⁵

RESUMO

Visando definir os efeitos das variações climáticas sobre a produtividade de grãos têm-se utilizado os modelos agrometeorológicos que exigem poucos dados de entrada. Portanto, objetivou-se avaliar o desempenho de modelos agrometeorológicos na estimativa da produtividade da cultura do milho e comparar com índices de produtividade da microrregião de Cruz Alta, RS. Para estimar a produtividade real foram adotados os modelos de Jensen (1968), Minhas et al. (1974) e Doorenbos e Kassan (1979). Inicialmente fizeram-se as análises com parâmetros dos modelos recomendados na literatura, posteriormente foi realizado um ajuste dos mesmos. A precisão da estimativa foi determinada a partir de análise de regressão linear e correlação. De maneira geral, os modelos testados com parâmetros recomendados na literatura, apresentaram desempenho de péssimo até mediano. Após a realização dos ajustes o desempenho variou de mau até muito bom, sendo que Jensen (1968) e Minhas et al. (1974) foram classificados como muito bom em outubro e novembro. Recomendam-se os coeficientes calibrados -0,768, 0,699, 0,374 e -0,330 para o modelo de Jensen, e -1,438, 1,078, 0,439 e -0,442 para o modelo de Minhas et al. (1974), conforme o estágio fenológico.

Palavras-chave: ajuste de parâmetros, déficit hídrico, modelagem de culturas

EVALUATION OF AGROMETEOROLOGICAL MODELS IN MAIZE CULTURE PRODUCTIVITY ESTIMATE

ABSTRACT

¹ Engenheira Agrônoma, Doutora, Docente do Instituto Federal Catarinense – *Campus* Santa Rosa do Sul, Santa Rosa do Sul - SC. E-mail: taisebuske@gmail.com

² Engenheiro Agrônomo, Doutor, Professor Titular, Departamento de Engenharia Rural, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS. E-mail: diasrobaina@gmail.com

³ Engenheira Agrônoma, Doutora, Professora Adjunta, Departamento de Engenharia Rural, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS. E-mail: mpeiter@gmail.com

⁴ Engenheira Agrônoma, Doutoranda, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS. E-mail: bruhpimenta@hotmail.com

⁵ Engenheira Agrônoma, Doutoranda, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS. E-mail: elisagollo@hotmail.com

To characterize the effects of climatic variations on grain yield, agrometeorological models are used because they require little input data. This study aimed to evaluate the performance of agrometeorological models in the estimation of maize crop productivity and compare it with local productivity indexes in the Cruz Alta micro region. In order to estimate the actual productivity the models of Jensen (1968), Minhas et al. (1974) and, Doorenbos and Kassan (1979) were adopted. Initially, the analyzes were carried out with parameters of the models recommended in the literature, later an adjustment of those was done. The accuracy of the estimation was determined from the linear regression analysis and correlation. In general, the models tested with parameters recommended in the literature presented the performance from poor to medium. After adjusting those parameters, the performance ranged from poor to very good, and Jensen's (1968) and Minhas et al. (1974) was rated very good in October and November. The recommended calibrated coefficients are -0.768, 0.699, 0.374 and -0.330 for the Jensen model, and -1.438, 1.078, 0.439 and -0.442 for the Minhas et al. (1974) model, according to the phenological stage.

Keywords: parameter setting, water deficit, crop modeling

INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays*) é uma espécie anual da família das poáceas, pertencente ao grupo de plantas com metabolismo fotossintético do tipo C4, expressando sua elevada produtividade quando a máxima área foliar coincidir com a maior disponibilidade de radiação solar, desde que não haja déficit hídrico (BERGAMASCHI et al., 2004).

Atualmente, o Rio Grande do Sul é o sexto maior produtor de milho em grão do Brasil, tendo registrado na primeira e segunda safra 2016/2017 uma produtividade média de 7.500 kg ha⁻¹ (CONAB, 2017). Ao se comparar as safras das duas últimas décadas, nota-se que a área cultivada com milho no RS teve uma redução de cerca de 30% (EMYGDIO et al., 2013), mas com relativo ganho de produtividade através do emprego de novas tecnologias, como o uso do pivô central, em destaque no município de Cruz Alta que possui a maior concentração de pivôs centrais no estado (GOLLO et al., 2018).

Como a precipitação média mensal no estado é da ordem de 100 a 150 mm, as necessidades da cultura poderiam ser supridas pelas precipitações pluviais (EMYGDIO et al., 2013). No entanto, é de senso comum que a quantidade média de precipitação não atende às exigências da cultura nos períodos de maior consumo de água, devido a perdas por escoamento superficial, evaporação e drenagem, aliadas à baixa capacidade de

retenção de água da maioria dos solos e à distribuição espacial irregular da precipitação.

A estimativa da produtividade de safras agrícolas pode ser utilizada com grande êxito em diversas situações a partir de modelos de simulação de culturas, considerado uma importante ferramenta no setor (SOARES et al., 2015). Dentre as vantagens da utilização de modelos, segundo Köpp et al. (2015), destacam-se o curto prazo e o baixo custo para planejamento e tomada de decisões de manejo no setor agrícola.

Nesse contexto, os modelos agrometeorológicos consideram que cada elemento climático exerce certo controle na produtividade, interferindo como um fator de eficiência (SILVA et al., 2011). Quando existe dependência entre efeitos dos déficits hídricos ocorridos em diferentes estádios fenológicos, são mais indicados os modelos multiplicativos como Jensen (1968) e, Minhas et al. (1974). Nos casos em que o efeito do déficit entre estádios é independente, se propõe que os modelos aditivos de função de produção sejam mais apropriados, como o modelo de Doorenbos e Kassam (1979).

Um procedimento adotado por diversos autores consiste na realização do ajuste estatístico dos parâmetros dos modelos. Araujo et al. (2011) salientam a importância da calibração de coeficientes ou fatores para cada localidade, o que possibilita a obtenção de estimativas mais precisas de produtividade por meio de modelos agrometeorológicos.

AVALIAÇÃO DE MODELOS AGROMETEOROLÓGICOS NA ESTIMATIVA DE PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO MILHO

Assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho de modelos agrometeorológicos na estimativa da produtividade da cultura do milho e comparar com índices de produtividade local, antes e após realizar os ajustes dos parâmetros dos modelos, na microrregião de Cruz Alta, RS.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido para a microrregião de Cruz Alta, Rio Grande do Sul, com clima predominante subtropical, tipo “Cfa”, temperado úmido com verão quente, de acordo com a classificação climática de Köppen (ALVARES et al., 2013). Os dados meteorológicos diários utilizados para estimar a evapotranspiração, referentes ao período de

1993 a 2014, foram oriundos da estação meteorológica localizada no município de Cruz Alta, com 28,63° de latitude sul, 53,6° de longitude oeste e 472,5 m de altitude, obtidos do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2017).

Foram avaliados três modelos agrometeorológicos para estimativa da produtividade da cultura do milho (Equações 1 a 3), sendo todos com variável independente consumo relativo de água (ET_r / ET_p – expressa a relação entre evapotranspiração real e evapotranspiração potencial), e variável dependente o rendimento relativo de grãos (Y_r / Y_p – expressa a relação entre rendimento real e rendimento potencial).

Equação 1 proposta por Jensen (1968):

$$\frac{Y_r}{Y_p} = \prod_{i=1}^n \left(\frac{ET_r}{ET_p} \right)^{\lambda_i} \quad (1)$$

Equação 2 proposta por Minhas et al. (1974):

$$\frac{Y_r}{Y_p} = \prod_{i=1}^n \left[1 - \left(1 - \frac{ET_r}{ET_p} \right)^2 \right]^{\lambda_i} \quad (2)$$

Equação 3 proposta por Doorenbos e Kassan (1979):

$$\frac{Y_r}{Y_p} = 1 - \left[ky \left(1 - \frac{ET_r}{ET_p} \right) \right] \quad (3)$$

Em que: Y_r representa o rendimento real (kg ha^{-1}), Y_p o rendimento potencial (kg ha^{-1}), ET_r a evapotranspiração real (mm), ET_p a evapotranspiração potencial (mm), λ_i representa o fator hídrico de penalização da produtividade por déficit (adimensional), K_y o coeficiente de penalização da produtividade por déficit (adimensional), i representa as fases do ciclo fenológico ($i = 1, 2, 3$ e 4) e n o número de estádios fenológicos ($n = 4$).

Inicialmente, após buscas na bibliografia, foram usados os valores do parâmetro λ_i de -0,8284, 0,4235, 0,8048 e 0,2156 nos quatro estádios fenológicos, para o modelo de Jensen (1968), os mesmos calibrados por Matzenauer et al. (1995). Para o modelo de Minhas et al. (1974) foram

adotados os coeficientes de 0,1496, 0,2060, 0,3650 e 0,1116 conforme o estádio fenológico I, II, III e IV, idênticos aos valores apresentados por Gerstemberger et al. (2010). Para executar o modelo de Doorenbos e Kassan (1979) empregou-se o k_y de 1,25 para todo ciclo (KÖPP et al., 2015).

Posteriormente, com o intuito de verificar possíveis melhorias na estimativa das produtividades, foram utilizados valores de λ_i provenientes do ajustamento em análise de regressão múltipla, a partir das transformadas logarítmicas da equação e método dos mínimos quadrados, para os modelos de Jensen (1968) e Minhas et al. (1974). Para o parâmetro k_y , foram usados valores oriundos de um ajuste envolvendo regressão simples.

Para o cálculo da ETp multiplicou-se a evapotranspiração de referência (ETo), que foi estimada pelo método de Penman-Montheit por meio do *software* ETo Calculator Version 3.1 (FAO, 2009), pelo coeficiente da cultura (Kc) obtido a partir de Köpp et al. (2015). Para estimativa da ETr foi utilizado o método do balanço hídrico climatológico empregando-se o *software* System for Water Balance – SYSWAB, desenvolvido por Gaspar et al. (2015).

O rendimento potencial (Yp) foi calculado pelo método da Zona Agroecológica (MZA), recomendado pela FAO e citado em Doorenbos e Kassam (1979). Por fim, o valor do rendimento real (Yr) foi considerado o resultado obtido em cada ciclo/ano, conforme as combinações dos modelos agrometeorológicos com o MZA, para o plantio em setembro, outubro, novembro e dezembro, de acordo com o zoneamento agrícola de risco climático para a cultura do milho no estado do Rio Grande do Sul.

A precisão da estimativa foi determinada a partir de análise de regressão linear e correlação (Equação 4), realizada entre os valores de produtividade real observada, obtidos junto ao IBGE (2017) para a microrregião, e estimada com os referidos modelos.

Para a avaliação da eficácia da simulação dos modelos foi usado o coeficiente de eficiência “E” desenvolvido por Nash e Sutcliffe (1970), conforme Equação 5.

Ainda, para avaliar o grau de exatidão entre as variáveis envolvidas foi usado o índice “d” de concordância (WILLMOTT et al., 1985), de acordo com a Equação 6. Também adotou-se o índice de desempenho ou confiança “c” (Equação 7), segundo Camargo e Sentelhas (1997), considerando as seguintes classes de interpretação: $c > 0,85$ – ótimo, 0,75 a 0,85 – muito bom, 0,65 a 0,75 – bom, 0,60 a 0,65 – mediano, 0,50 a 0,60 – sofrível, 0,40 a 0,50 – mau e $c \leq 0,40$ – péssimo.

Coeficiente de Correlação:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (Ei - \bar{E}) \times (Oi - \bar{O})}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n (Ei - \bar{E})^2][\sum_{i=1}^n (Oi - \bar{O})^2]}} \quad (4)$$

Coeficiente de Eficiência:

$$E = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Ei - Oi)^2}{\sum_{i=1}^n (|Oi - \bar{O}|)^2} \right] \quad (5)$$

Índice de Concordância:

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Ei - Oi)^2}{\sum_{i=1}^n (|Ei - \bar{O}| + |Oi - \bar{O}|)^2} \right] \quad (6)$$

Índice de Desempenho:

$$c = r \times d \quad (7)$$

Em que: Ei são os valores estimados, Oi os valores observados, \bar{E} a média dos valores estimados e \bar{O} a média dos valores observados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quando foram analisados os modelos agrometeorológicos com parâmetros

recomendados na literatura, e dispostos na Tabela 1 os resultados dos coeficientes de correlação, coeficiente de eficiência, índice de concordância e índice de desempenho, observou-se que o índice “d” mostrou-se sempre acima de 0,95 indicando exatidão entre as variáveis envolvidas.

AVALIAÇÃO DE MODELOS AGROMETEOROLÓGICOS NA ESTIMATIVA DE PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO MILHO

Tabela 1. Valores do coeficiente de correlação “r”, coeficiente de eficiência “E”, índice de concordância “d”, índice de desempenho “c” e sua respectiva interpretação para os modelos agrometeorológicos de: (A) Jensen (1968); (B) Minhas et al. (1974); (C) Doorenbos e Kassan (1979), com parâmetros recomendados na literatura.

	Modelo	r	E	d	c	Desempenho
Set	A	0,1678	0,2839	0,9633	0,1616	Péssimo
	B	0,4789	-0,4053	0,9629	0,4611	Mau
	C	0,4659	0,9032	0,9724	0,4530	Mau
Out	A	0,5812	0,8730	0,9770	0,5678	Sofrível
	B	0,5625	0,7514	0,9707	0,5460	Sofrível
	C	0,4464	0,8507	0,9712	0,4335	Mau
Nov	A	0,6380	0,8802	0,9790	0,6246	Mediano
	B	0,5051	0,9051	0,9677	0,4888	Mau
	C	0,4211	0,8016	0,9697	0,4084	Mau
Dez	A	0,2586	-0,9245	0,9557	0,2471	Péssimo
	B	0,4322	0,9124	0,9706	0,4195	Mau
	C	0,4137	0,7977	0,9697	0,4012	Mau

Com relação ao coeficiente de correlação, que fornece a precisão entre as variáveis, observa-se que o melhor resultado (“r” = 0,6380) foi quando testado o modelo de Jensen (1968) para plantio em novembro, indicando desempenho “mediano”. Confirmando esse resultado, também o coeficiente de eficiência apresentou o melhor resultado na simulação do plantio em novembro, para o modelo de Jensen (1968).

Na sequência, para o plantio em outubro, o modelo de Jensen (1968) apresentou índice “c” superior a 0,50, acompanhado do modelo de Minhas et al. (1974). O coeficiente “E” acompanhou esse resultado, pois valores maiores que 0,75 indicam que o desempenho do modelo é bom. Os piores resultados foram para o modelo de Jensen (1968), em setembro e dezembro, classificados como “péssimo”, e por resultar valores inferiores a 0,36 para o coeficiente de eficiência é julgado como inaceitável. Já o modelo de Doorenbos e Kassan (1979) foi classificado como “mau”, em todas as situações. Esse resultado foi semelhante ao estudo de Gerstemberger et al.

(2010), no qual os modelos agrometeorológicos empregando coeficientes obtidos na literatura também não retornaram satisfatoriamente valores de produtividade equivalentes aos valores reais registrados para as cinco safras de milho, na região de Ponta Grossa/ PR.

Analogamente aos resultados do presente trabalho, Martins (2012) empregando o modelo de Doorenbos e Kassam (1979), para estimar o rendimento do milho em Araripina/ PE, constatou que os índices estatísticos obtidos mostraram resultados de baixo desempenho. O coeficiente de correlação encontrado foi igual a 0,19, e os valores do índice de confiança e de Willmott apresentaram desempenhos “péssimo” e “mau”, respectivamente.

Diante dos resultados insatisfatórios, procedeu-se o ajuste dos parâmetros dos modelos agrometeorológicos. Portanto, estão expostos na Tabela 2 os novos valores dos parâmetros para as combinações dos três modelos agrometeorológicos testados com o MZA e nas quatro datas de plantio simuladas.

Tabela 2. Valores dos parâmetros λ_i e K_y ajustados com os dados da região de Cruz Alta/ RS para os modelos agrometeorológicos de: (A) Jensen (1968); (B) Minhas et al. (1974); (C) Doorenbos e Kassan (1979).

	Modelo	Parâmetro	Estádios*				Todo ciclo	Obtenção
			I	II	III	IV		
Set	A	λ_i	0,175	-1,346	-0,011	0,575	-	RM
	B	λ_i	0,399	-4,863	0,131	0,786	-	RM
	C	K_y	-	-	-	-	0,959	RS
Out	A	λ_i	-0,943	-0,499	0,613	0,218	-	RM
	B	λ_i	-2,518	-0,928	0,887	0,199	-	RM
	C	K_y	-	-	-	-	0,807	RS
Nov	A	λ_i	-0,768	0,699	0,374	-0,330	-	RM
	B	λ_i	-1,438	1,078	0,439	-0,442	-	RM
	C	K_y	-	-	-	-	0,684	RS
Dez	A	λ_i	0,257	0,544	-0,365	0,029	-	RM
	B	λ_i	0,359	0,873	-0,631	0,064	-	RM
	C	K_y	-	-	-	-	0,658	RS

* Estádios fenológicos da cultura do milho: I - emergência a 30 dias após a emergência (EM-30EM); II - 30 dias após a emergência ao início do pendoamento (30EM-IP); III - início do pendoamento a 30 dias após (IP-30 IP); IV - 30 dias após início do pendoamento à maturação fisiológica (30 IP-MF). RM – regressão múltipla; RS – regressão simples.

Após a realização dos ajustes nos parâmetros dos modelos agrometeorológicos ficou evidente a melhora no coeficiente de determinação com destaque para os modelos de Jensen (1968) e Minhas et al. (1974), no

plântio em novembro, como pode ser visto na Figura 1.

Ambos os modelos, tiveram, em média, apenas 24% da variância da regressão não dependente das variáveis estudadas.

AVALIAÇÃO DE MODELOS AGROMETEOROLÓGICOS NA ESTIMATIVA DE PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO MILHO

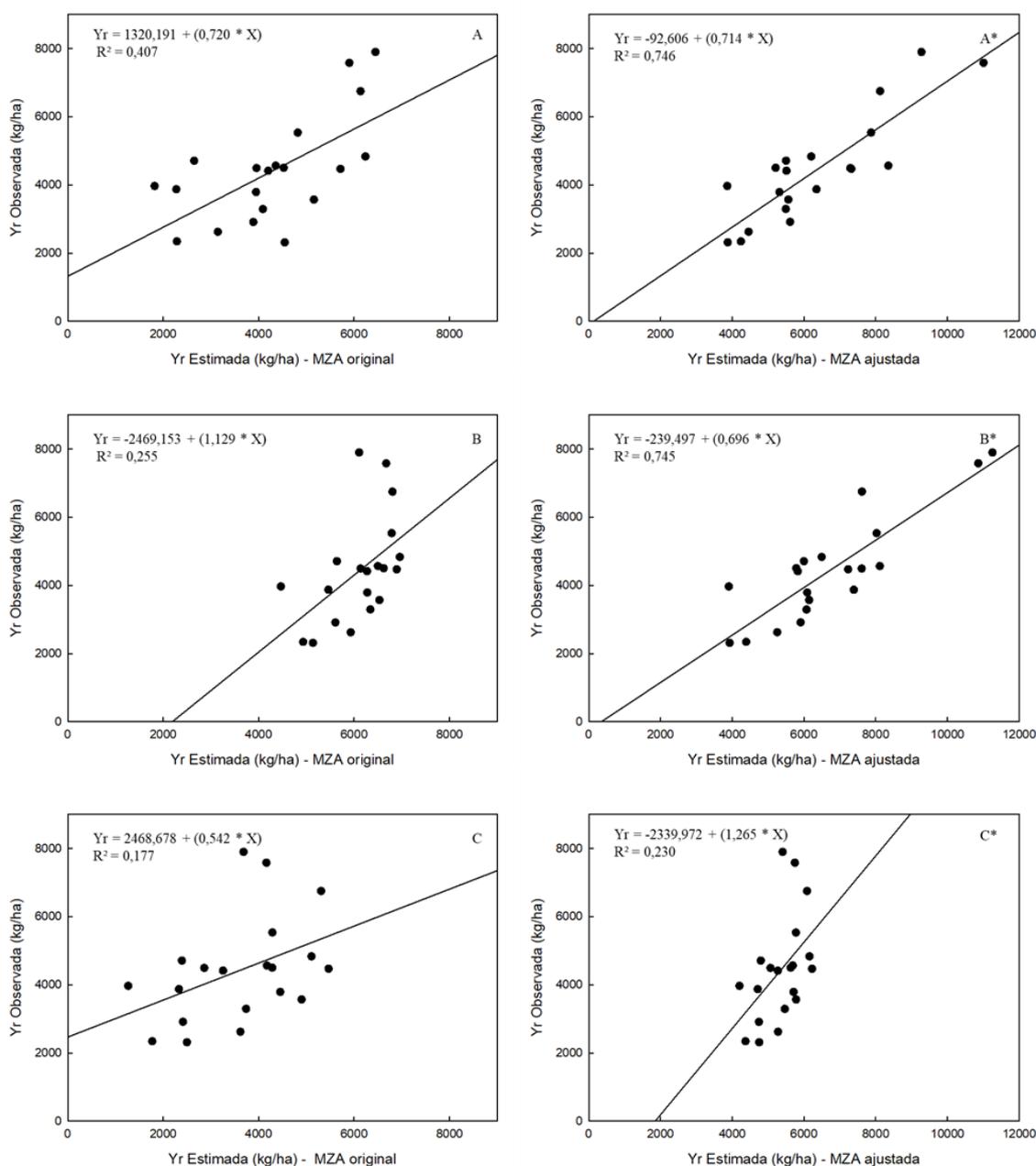


Figura 1. Análise de regressão linear entre os valores observados de produtividade real da cultura do milho e estimados com os modelos agrometeorológicos de: (A) Jensen (1968); (B) Minhas et al. (1974); (C) Doorenbos e Kassan (1979), empregando os parâmetros obtidos na bibliografia; (A*) Jensen (1968); (B*) Minhas et al. (1974); (C*) Doorenbos e Kassan (1979), empregando os parâmetros ajustados com os dados da região de Cruz Alta/ RS, ambos para o plantio em novembro.

Os valores dos coeficientes de correlação, coeficiente de eficiência, índice de concordância e índice de desempenho, após a realização dos ajustes nos parâmetros, estão organizados na Tabela 3, sendo que o

desempenho variou de “péssimo” até “muito bom”. Nota-se uma melhor concordância entre os dados estimados e observados, visto que o coeficiente “E” ficou próximo a um para todas as simulações.

Tabela 3. Valores do coeficiente de correlação “r”, coeficiente de eficiência “E”, índice de concordância “d”, índice de desempenho “c” e sua respectiva interpretação para os modelos agrometeorológicos de: (A) Jensen (1968); (B) Minhas et al. (1974); (C) Doorenbos e Kassan (1979), utilizando parâmetros ajustados com os dados da região de Cruz Alta/ RS.

	Modelo	r	E	d	c	Desempenho
Set	A	0,6825	0,8853	0,9781	0,6675	Bom
	B	0,6529	0,8402	0,9752	0,6367	Mediano
	C	0,4888	0,9024	0,9679	0,4732	Mau
Out	A	0,8136	0,8907	0,9819	0,7989	Muito bom
	B	0,7739	0,8491	0,9791	0,7577	Muito bom
	C	0,4905	0,8647	0,9701	0,4758	Mau
Nov	A	0,8637	0,8328	0,9782	0,8449	Muito bom
	B	0,8631	0,7955	0,9771	0,8433	Muito bom
	C	0,4793	0,8457	0,9702	0,4650	Mau
Dez	A	0,6875	0,9342	0,9827	0,6756	Bom
	B	0,6684	0,9030	0,9804	0,6553	Bom
	C	0,4612	0,8842	0,9684	0,4466	Mau

Os piores resultados foram do modelo de Doorenbos e Kassan (1979), possivelmente em função de adotar um valor de k_y único para todo ciclo, enquanto os demais modelos separam os parâmetros de penalização da produtividade por déficit em estádios, acompanhando melhor as necessidades de cada fase da cultura.

Demonstrando a importância dessa separação, em estudo sobre os modelos agrometeorológicos para a previsão da produtividade anual de café arábica, por meio dos déficits hídricos, Aparecido e Rolim (2018) concluíram que em anos de alta produtividade os déficits hídricos afetam mais o estádio reprodutivo do café, enquanto, em anos de baixa produtividade, afetam mais os estádios vegetativos da cultura.

Assim como no presente trabalho, Gerstemberger et al. (2010) concluíram que o modelo de Minhas et al. (1974), utilizando coeficientes e fatores obtidos por regressão e produtividade potencial da região, proporcionou relações lineares estreitas entre as produtividades reais e estimadas de milho.

Cabe ainda destacar a afirmação de Matzenauer et al. (1995), que o modelo de Jensen (1968) pode ser utilizado para a estimativa do rendimento de grãos da cultura do milho, pois usa como variável independente o consumo relativo de água, índice E_{Tr} / E_{Tp} . Essa é uma variável

eficiente para indicar as variações de rendimento de grãos entre épocas de semeadura, anos e locais no estado do Rio Grande do Sul.

Os resultados obtidos também corroboram com o estudo de Souza et al. (2013), em que o modelo de Jensen (1968) utilizando coeficientes e fatores obtidos por regressão múltipla, proporcionou relações lineares mais estreitas entre as produtividades reais e estimadas da cultura do trigo, e o seu desempenho obtido foi classificado como “muito bom” em Ponta Grossa, Paraná. Para o modelo de Minhas et al. (1974) o índice “c” se apresentou como “mediano”, enquanto o modelo de Doorenbos e Kassan (1979) permaneceu classificado como “péssimo”.

Vale ressaltar que a regressão múltipla ajustada tem caráter empírico e não deve ser utilizada para condições distintas daquelas para as quais foi desenvolvida (KLERING et al., 2016). Segundo esses autores, é considerada a relação clima-planta na definição das variáveis independentes, sendo que os dados de entrada do modelo são conhecidos e operacionalmente disponibilizados, o que permite a utilização deste como complementar ao atual sistema de previsão de safras.

Por fim, as melhores respostas foram para o modelo de Jensen (1968) e para o modelo de Minhas et al. (1974) no plantio em

outubro e novembro. Portanto, recomendam-se os coeficientes de -0,768, 0,699, 0,374 e -0,330 para o modelo de Jensen (1968), e os coeficientes de -1,438, 1,078, 0,439 e -0,442 para o modelo de Minhas et al. (1974), conforme o estágio fenológico I, II, III e IV, respectivamente, para a microrregião de Cruz Alta/ RS.

CONCLUSÕES

Conclui-se que a utilização de parâmetros obtidos na literatura deve ser realizada com cuidado, pois estes podem gerar resultados insatisfatórios.

Os ajustes nos parâmetros dos modelos agrometeorológicos foram essenciais para a melhora do coeficiente de determinação, com destaque para os modelos de Jensen (1968) e Minhas et al. (1974), no plantio em novembro.

O desempenho das análises com parâmetros ajustados variou de mau até muito bom, sendo que o modelo de Jensen (1968) e o modelo de Minhas et al. (1974) foram classificados como muito bom em outubro e novembro.

Recomendam-se os coeficientes -0,768, 0,699, 0,374 e -0,330 para o modelo de Jensen (1968), e os coeficientes -1,438, 1,078, 0,439 e -0,442 para o modelo de Minhas et al. (1974), nos estágios fenológicos I, II, III e IV, respectivamente, para a microrregião de Cruz Alta/ RS.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>

APARECIDO, L. E. de O.; ROLIM, G. de S. Forecasting of the annual yield of Arabic coffee using water deficiency. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 53, n. 12, p.

1299-1310, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2018001200002>

ARAUJO, M. A.; SOUZA, J. L. M. DE; TSUKAHARA, R. Y. Modelos agrometeorológicos na estimativa da produtividade da cultura da soja na região de Ponta Grossa, Estado do Paraná. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 33, n. 1, p. 23-31, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v33i1.5062>

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; BERGONCI, J. I.; BIANCHI, C. A. M.; MÜLLER, A. G.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 39, n. 9, p. 831-839, 2004. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2004000900001>

CAMARGO, A. P. de; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_07_12_11_17_01_boletim_graos_julho_2017.pdf>. Acesso em: 10. jul. 2017.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1979, 193p. (FAO Irrigation and Drainage, Paper 33).

EMYGDIO, B. M.; ROSA, A. P. S. A. da; TEIXEIRA, M. C. C. **Indicações técnicas para o cultivo de milho e de sorgo no Rio Grande do Sul: Safras 2013/2014 e 2014/2015**. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 124p.

FAO - Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. **ETo Calculator**. Manual (38p) e software Version 3.1. 2009. Land and Walter Digital Media Series Nº 36.

GASPAR, N. A.; APARECIDO, L. E. de O.; ROLIM, G. de S.; SOUZA, P. S. de; BOTELHO, T. G. Software for the management of weather stations and for agrometeorological calculations. **Australian Journal of Crop Science**, v. 9, n.6, p.545-551, 2015.

GERSTEMBERGER, E.; SOUZA, J. L. M. de; SANTOS, M. de J. dos; ARAUJO, M. A. Estimativa da Produtividade da Cultura do Milho em Diferentes Sistemas de Cultivo na Região de Ponta Grossa-PR, Utilizando Modelos Agrometeorológicos. In: XVIII REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA - Novos Caminhos para Agricultura Conservacionista no Brasil, 2010, Teresina/PI. **Anais...** Teresina/ PI, 2010. Disponível em:<http://www.moretti.agrarias.ufpr.br/publicacoes/re_2010_rbmcsa_2.pdf>. Acesso em: 19. jan. 2018.

GOLLO, E. de A.; BRUNING, J.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; BUSKE, T. C.; BOSCAINI, R.; RODRIGUES, S. A.; PIROLI, J. D.; RODRIGUES, P. E. C.; PIMENTA, B. D. Performance of different methods to estimate reference evapotranspiration in Cruz Alta – RS. **Científica**, v. 46, n. 3, p. 226-234, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.15361/1984-5529.2018v46n3p226-234>

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html?=&t=series-historicas>>. Acesso em: 10. jul. 2017.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de Dados Meteorológicos para**

Ensino e Pesquisa – BDMEP. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 10. jul. 2017.

JENSEN, M. E. Water consumption by agricultural plants. In: KOZLOWSKY, T. T. (Ed.). **Water deficits and plant growth**. New York: Academic Press, v. 2, p. 1-22, 1968.

KLERING, E. V.; FONTANA, D. C.; ROGLIO, V. S.; ALVES, R. de C. M.; BERLATO, M. A. Modelo agrometeorológico-espectral para estimativa da produtividade de grãos de arroz irrigado no Rio Grande do Sul. **Bragantia**, v. 75, n. 2, p. 247-256, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.287>

KÖPP, L. M.; PEITER, M. X.; BEN, L. H. B.; NOGUEIRA, H. M. C. de M.; PADRÓN, R. A. R.; ROBAINA, A. D.; BUSKE, T. C. Simulação da necessidade hídrica e estimativa de produtividade para cultura do milho em municípios do RS. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 14, n. 2, p. 235-246, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v14n2>

MARTINS, M. A. **Estimativa de produtividade das culturas do milho e do sorgo a partir de modelos agrometeorológicos em algumas localidades da região nordeste do Brasil**. 2012. 97 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M. A.; RIBOLDI, J. Modelos agrometeorológicos para a estimativa do rendimento do milho, em função da disponibilidade hídrica no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 1, n. 2, p. 225-241, 1995.

MINHAS, B. S.; PARIKH, K. S.; SRINIVASAN, T. N. Towards the structure of a production function for wheat yields with dated inputs of irrigation water. **Water Resources Research**, v. 10, n. 3, p. 383-393, 1974.

AVALIAÇÃO DE MODELOS AGROMETEOROLÓGICOS NA ESTIMATIVA DE PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO MILHO

NASH, J. E.; SUTCLIFFE, J. V. River flow forecasting through conceptual models part I - A discussion of principles, **Journal of Hydrology**, v.10, n. 3, p. 282-290, 1970. DOI: [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(70\)90255-6](https://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90255-6)

SILVA, S. DE A.; LIMA, J. S. de S.; OLIVEIRA, R. B. de. Modelo agrometeorológico na estimativa da produtividade de duas variedades de café arábica considerando a variabilidade espacial. **Irriga**, v. 16, n. 1, p. 1-10, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2011v16n1p01>

SOARES, F. C.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; RUSSI, J. L. Predição da produtividade da cultura do milho utilizando rede neural

artificial. **Ciência Rural**, v. 45, n. 11, p. 1987-1993, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20141524>

SOUZA, J. L. M. de; GERSTEMBERGER, E.; ARAUJO, M. A. Calibração de modelos agrometeorológicos para estimar a produtividade da cultura do trigo, considerando sistemas de manejo do solo, em Ponta Grossa-PR. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 4, 409-418, 2013.

WILLMOTT, C. J. et al. Statistics for the of models. **Journal of Geophysical Research**, v. 90, n. C5, p. 8995-9005, 1985.