

ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE DE ARROZ IRRIGADO EM FUNÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR E DA TEMPERATURA MÍNIMA DO AR NA REGIÃO DE PELOTAS, RS

SILVIO STEINMETZ¹, ALEXANDRE N. DEIBLER², JOÃO B. da SILVA³, PAULO R.R. FAGUNDES⁴, ARIANO M. de MAGALHÃES JÚNIOR⁴, JACKSON B.A. PINTANEL⁵, ANDERSON B. SCHNEIDER⁵, ALCIDES C.M. SEVERO⁶

¹Eng. Agrônomo, Doutor, Pesquisador do Laboratório de Agrometeorologia, Embrapa Clima Temperado, CPACT, Pelotas – RS, Fone (53) 3275 8270, silvio@cpact.embrapa.br, ²Eng. Agrônomo, Prof. Doutor, Universidade da Região da Campanha – URCAMP, Bagé-RS, ³Livre Docente, Dr., Instituto de Física e Matemática, UFPel (Aposentado), Bolsista do CNPq, Pelotas – RS, ⁴Eng. Agrônomo, Doutor, Pesquisador da Embrapa Clima Temperado, ⁵Estudante de Agronomia (UFPel) e estagiário da Embrapa Clima Temperado, ⁶Técnico em Agropecuária, Assistente A da Embrapa Clima Temperado.

Apresentado no XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 18 a 21 de Julho de 2011 – SESC Centro de Turismo de Guarapari, Guarapari - ES

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi estimar a produtividade de grãos de arroz irrigado em função da radiação solar e da temperatura mínima do ar usando procedimentos de análise de regressão múltipla. Utilizaram-se dados de experimentos de épocas de semeadura conduzidos nas safras 2004/2005, 2005/2006 e 2006/2007. A variável dependente (Y) foi a média da produtividade e as variáveis independentes foram a média da radiação solar global (X_1), média da temperatura mínima do ar (X_2) e a média da temperatura mínima do ar elevada ao quadrado (X_3), computadas em distintos estádios fenológicos. Para as cultivares de ciclo médio, as variáveis mais importantes para explicar a produtividade foram a radiação solar global média da diferenciação da panícula até o início da floração (R2) e a média das temperaturas mínimas ocorridas do início da floração até a maturação dos grãos (T3). Os modelos de regressão mostram-se adequados para a estimar a produtividade de grãos de arroz irrigado na região de Pelotas, Rio Grande do Sul.

PALAVRAS-CHAVE: radiação solar global, temperatura mínima do ar, modelos de regressão.

IRRIGATED RICE GRAIN YIELD ESTIMATES AS A FUNCTION OF SOLAR RADIATION AND MINIMUM AIR TEMPERATURE IN THE REGION OF PELOTAS, RIO GRANDE DO SUL STATE, BRAZIL

ABSTRACT: The objective of this work was to estimate the irrigated rice grain yield as a function of solar radiation and minimum air temperature by using procedures for multiple regression analysis. Data from sowing date experiments conducted during three crop seasons (2004/2005, 2005/2006, 2006/2007) were used. The dependent variable (Y) was the average grain yield and the independent variables were the average of global solar radiation (X_1), average of minimum air temperature (X_2) and the square of the average minimum air temperature (X_3), computed in different plant development stages. For cultivars of medium cycle, the most important variables explaining grain yield were the global solar radiation from panicle differentiation until the beginning of flowering

(R2) and the minimum air temperature from the beginning of the flowering until the grain maturation (T3). Regression models are suitable for estimating grain yield of irrigated rice in the Pelotas region, Rio Grande do Sul State, Brazil.

KEYWORDS: global solar radiation, minimum air temperature, regression models

INTRODUÇÃO: O Rio Grande do Sul é o maior produtor de arroz irrigado do Brasil, tendo contribuído, nos últimos anos, com cerca de 60% da produção nacional (CONAB, 2011). Apesar dos altos índices de produtividade (em torno de 7 t ha⁻¹) ocorrem, em alguns anos, quedas na produtividade causadas, fundamentalmente, por condições climáticas adversas como baixos níveis de radiação solar e baixas temperaturas do ar durante os períodos críticos da planta (STEINMETZ e BRAGA, 2001). A produtividade de grãos é influenciada pela disponibilidade de radiação solar, principalmente nas fases reprodutiva (da diferenciação da panícula à floração) e de maturação (da floração à maturação fisiológica do grão) (STANSEL, 1975; YOSHIDA e PARAO, 1976). Essa variável também é afetada pela ocorrência de baixas temperaturas do ar, principalmente na microsporogênese (formação do grão de pólen), ocasionando esterilidade de espiguetas (SATAKE, 1976; TERRES e GALLI, 1985). Métodos estatísticos ou de correlação têm sido usados para estimar a produtividade de grãos, em diferentes regiões do mundo, considerando a disponibilidade de radiação solar, a temperatura mínima do ar e os estádios de desenvolvimento da planta (OLDEMAN et al., 1986; MOTA, 1994; CARMONA et al., 2002). Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo estimar a produtividade de grãos de arroz irrigado em função da radiação solar e da temperatura mínima do ar usando procedimentos de análise de regressão múltipla.

MATERIAL E MÉTODOS: Utilizaram-se dados gerados em experimentos de épocas de semeadura conduzidos na Estação Experimental Terras Baixas (ETB) da Embrapa Clima Temperado, município de Capão do Leão, RS envolvendo as safras 2004/2005, 2005/2006 e 2006/2007. O solo da área experimental é classificado como Planossolo Háplico eutrófico típico (SANTOS et al., 2006).

Foram consideradas para o trabalho oito cultivares de arroz irrigado sendo uma de ciclo muito precoce (BRS Atalanta), três precoces (BRS-6 “Chui”, BRS Querência e BRS Firmeza) e quatro de ciclo médio (BR-IRGA 410, BRS Pelota, BRS-7 “Taim” e BRS Fronteira), semeadas em seis épocas em cada safra, de início de outubro a meados de dezembro. Foi empregado o delineamento experimental em blocos ao acaso com quatro repetições. As parcelas tinham 5m de comprimento e 1,58m de largura, constando de 9 linhas espaçadas de 17,5cm. A densidade de semeadura foi de 80 sementes aptas por metro linear. A área útil constou de 5 linhas de 4m de comprimento. A adubação e os demais tratos culturais seguiram as recomendações da Sosbai (2007).

Dez plantas (colmo principal) de cada cultivar foram marcadas, em uma repetição, e tiveram o desenvolvimento acompanhado durante todo o ciclo, caracterizando-se cada estágio de acordo com a escala proposta por Counce et al. (2000). A partir das observações, realizadas três vezes por semana, foram obtidas as datas médias para definição de cada estágio. A produtividade de grãos foi obtida a partir da média de quatro repetições.

As variáveis meteorológicas (independentes) foram a radiação solar global média (cal.cm⁻²) e a temperatura mínima do ar (°C), obtidas na Estação Agroclimatológica de Capão do Leão (Pelotas), Convênio EMBRAPA/UFPe/INMET.

Para estabelecer a influência das variáveis preditoras (meteorológicas) na produtividade de grãos empregou-se a análise de regressão linear simples e múltipla, onde a variável dependente (Y) foi a média da produtividade de quatro repetições de cada época de semeadura, para cada genótipo ou grupo de genótipos, e as variáveis independentes foram: a média da radiação solar global do período (X_1), média da temperatura mínima do ar (X_2) e a média da temperatura mínima do ar elevada ao quadrado (X_3), computadas nos distintos estádios fenológicos a saber:

- a radiação solar global: da emergência das plântulas até a diferenciação da panícula (R1); da diferenciação da panícula ao início da floração (R2); do início da floração à maturação completa dos grãos (R3); e da emergência à maturação completa dos grãos (R4);

- a temperatura mínima: da diferenciação da panícula à emissão da folha bandeira (T1); da emissão da folha bandeira ao início da floração (T2); do início da floração à maturação completa dos grãos (T3). Os valores de temperatura obtidos em todos os períodos estabelecidos, também foram elevados ao quadrado, com o objetivo de testar o efeito curvilíneo na produtividade (SESHU e CADY, 1984). Todas as análises foram realizadas pelo Sistema de Análise Estatística para Microcomputadores – SANEST (ZONTA e MACHADO, 1984).

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Antes da realização das análises de regressão linear múltipla, identificaram-se através das análises de regressão simples as variáveis preditoras com maior influência na produtividade de grãos e, a partir daí, fizeram-se as regressões múltiplas. Posteriormente, foi acrescentada ao modelo a terceira variável preditora, (temperatura média mínima elevada ao quadrado), obtidas nos distintos estádios fenológicos (T4, T5 e T6).

Nas Tabelas 1, 2 e 3 são apresentados apenas os modelos de regressão múltipla em que se obteve um melhor coeficiente de determinação, contendo como variáveis preditoras R1, R2, T3 e T6. As variáveis R1 (radiação solar global média durante a fase vegetativa) e T3 (médias das temperaturas mínimas ocorridas do início da floração até a maturação dos grãos) mostraram-se como as mais importantes na explicação da variação da produtividade de grãos, para o grupo de cultivares precoce (Tabela 1). Para as cultivares do grupo médio (Tabela 2), mostraram-se mais importantes a R2 (radiação solar global média ocorrida da diferenciação da panícula até o início da floração) e a T3. SESHU & CADY (1984), utilizando como variáveis preditoras radiação solar global e temperatura média mínima do ar ocorridas no período de maturação (30 dias após a floração), obtiveram modelo com boa habilidade preditiva de produtividade de grãos de arroz irrigado. Quando a variável preditora T6 (médias das temperaturas mínimas ocorridas do início da floração até a maturação dos grãos elevada ao quadrado) foi acrescentada aos modelos dos dois grupos de cultivares (precoce e médio) a contribuição na precisão preditiva foi mínima, de apenas 4% e 0% (R^2), respectivamente, como pode ser observado nas Tabelas 1 e 2. Por isso, é recomendável indicar o uso dos modelos de regressão linear múltipla com as duas variáveis citadas, pois além desses modelos terem maior representatividade (R^2) são os mais simples, propriedades recomendadas pelo processo de modelagem. A análise do comportamento individual das cultivares em relação as variáveis preditoras confirma o destaque das variáveis T3 e R1, embora R2, R3 e R4 tenham dado boas respostas nas cultivares de ciclo médio (BRS-7 “Taim” e BRS Fronteira) (Tabela 3). Os resultados indicam, também, que todas as cultivares de ciclo médio tiveram respostas superiores àquelas de ciclo precoce.

Tabela 1 - Análise de regressão linear simples e múltipla entre rendimento médio de grãos de cultivares de arroz irrigado de ciclo precoce e radiação solar e temperatura mínima do ar. Nas safras 2004/2005, 2005/2006 e 2006/2007, em Pelotas (RS). Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS. 2011.

Variável	Modelo	R ²
R1	$Y = -16,466 + 0,044X1$	0,65**
R2	$Y = 1,472 + 0,009X1$	0,25*
R3	$Y = 3,320 + 0,007X1$	0,34*
R4	$Y = -0,063 + 0,013X1$	0,40**
T1	$Y = 1,597 + 0,240X1$	0,06 ^{n.s.}
T2	$Y = 18,427 - 0,661X1$	0,20 ^{n.s.}
T3	$Y = -7,667 + 0,758X1$	0,46**
R1, T3	$Y = -17,805 + 0,0344X1 + 0,352X2$	0,72**
R1,T3,T6	$Y = 31,209 + 0,0301X1 - 4,980X2 + 0,151X3$	0,76**

^{n.s.} Não significativo a 5%, * Significativo a 5% e ** Significativo a 1%.

Tabela 2 - Análise de regressão linear simples e múltipla entre o rendimento médio de grãos do grupo de cultivares de arroz irrigado de ciclo médio, a radiação solar global e a temperatura mínima. Safra 2004/2005, 2005/2006 e 2006/2007, em Pelotas (RS). Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS. 2011.

Variável	Modelo	R ²
R1	$Y = -34,829 + 0,081X1$	0,71**
R2	$Y = -4,626 + 0,024X1$	0,74**
R3	$Y = 0,444 + 0,016X1$	0,50**
R4	$Y = -6,986 + 0,030X1$	0,66**
T1	$Y = -8,856 + 0,827X1$	0,08 ^{n.s.}
T2	$Y = 23,019 - 0,902X1$	0,0 ^{n.s.}
T3	$Y = -12,193 + 1,066X1$	0,82**
R2, T3	$Y = -10,826 + 0,007X1 + 0,802X2$	0,83**
R2,T3,T6	$Y = -4,343 + 0,007X1 + 0,027X2 + 0,023X3$	0,83**

^{n.s.} Não Significativo a 5% e ** Significativo a 1%.

Tabela 3 - Coeficiente de determinação (R²) e a significância do coeficiente de regressão de modelos agrometeorológicos, obtidos através de análise de regressão linear simples entre o rendimento de grãos de cultivares de arroz irrigado de ciclo precoce e médio, a radiação solar global e a temperatura mínima. Safra 2004/2005, 2005/2006 e 2006/2007, em Pelotas (RS). Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS. 2011.

Cultivar	Variáveis preditoras						
	T1	T2	T3	R1	R2	R3	R4
BRS-6 “Chuf”	0,0 ^{n.s.}	0,0 ^{n.s.}	0,41**	0,24*	0,14 ^{n.s.}	0,12 ^{n.s.}	0,23*
BRS Querência	0,0 ^{n.s.}	0,0 ^{n.s.}	0,14 ^{n.s.}	0,15 ^{n.s.}	0,25*	0,08 ^{n.s.}	0,25*
BRS FIRMEZA	0,0 ^{n.s.}	0,0 ^{n.s.}	0,32*	0,0 ^{n.s.}	0,0 ^{n.s.}	0,0 ^{n.s.}	0,0 ^{n.s.}
BR-IRGA 410	0,0 ^{n.s.}	0,20 ^{n.s.}	0,70**	0,25*	0,25*	0,29*	0,40**
BRS Pelota	0,0 ^{n.s.}	0,16 ^{n.s.}	0,53**	0,31*	0,31*	0,17 ^{n.s.}	0,32*
BRS-7 “TAIM”	0,0 ^{n.s.}	0,18 ^{n.s.}	0,81**	0,62**	0,62**	0,47**	0,61**
BRS Fronteira	0,15 ^{n.s.}	0,17 ^{n.s.}	0,76**	0,67**	0,67**	0,47**	0,63**

^{n.s.} Não significativo a 5% * Significativo a 5% ** Significativo a 1%

CONCLUSÃO: Modelos de regressão que utilizam como variáveis preditoras a radiação solar global e temperaturas mínimas do ar mostram-se adequados para a estimativa da produtividade de grãos de arroz irrigado na região de Pelotas, Rio Grande do Sul.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

CARMONA, L. de C.; BERLATO, M. A.; BERGONCI, J. I. Relação entre elementos meteorológicos e rendimento do arroz irrigado no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 10, n. 2, p. 289-294, 2002.

CONAB. Séries históricas: grãos. Março/2011. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=2>> Acesso em 18 mar. 2011.

COUNCE, P. A.; KEISLING, T.C.; MITCHELL, A. J. A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. **Crop Science**, Madison, v. 40, n. 2, p. 436-443, Mar./Apr. 2000.

MOTA, F. S. Influência da radiação solar e do “frio” no período reprodutivo sobre o rendimento do arroz irrigado em Pelotas e Capão do Leão. **Lavoura Arrozeira**. Porto Alegre, v.47, n.413, p. 22-23, 1994.

OLDEMAN, L. R.; SESHU, D. V.; CADY, F. B. Response of rice to weather variables. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON THE IMPACT OF WEATHER PARAMETERS ON GROWTH AND YIELD OF RICE. 1986. Los Baños. Weather and rice, proceedings... Los Baños: IRRI, 1986. p. 5-39.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, C. A. de; OLIVEIRA, J. B. de; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

SATAKE, T. Sterile-type cool injury in paddy rice plants. In: INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE (Los Baños, Philippines). **Climate and rice**. Los Baños, 1976. p. 281-300.

SESHU, D. V.; CADY, F. B. Response of rice to solar radiation and temperature estimated from international yield trials. **Crop Science**, Madison, v. 24, n. 4, p. 649-654. 1984.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO. **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Pelotas: SOSBAI, 2007. 154 p.

STANSEL, J. W. Effective utilization of sunlight. In: SIX DECADES OF RICE RESEARCH IN TEXAS. Beaumont: Texas Agricultural Experiment Station, 1975. p. 43-50.

STEINMETZ, S., BRAGA, H. J. Zoneamento de arroz irrigado por épocas de semeadura nos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.9, n.3, p.429-438, 2001.

TERRES, A. L.; GALLI, J. Efeitos do frio em cultivares de arroz irrigado no Rio Grande do Sul. In: EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária de Terras Baixas de Clima Temperado (Pelotas, RS). **Fundamentos para a cultura do arroz irrigado**. Campinas: Fundação Cargill, 1985, cap.6, p.83-94.

YOSHIDA, S.; PARAO, F. T. Climatic influence on yield and yield components of lowland rice in the tropics. In: INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE (Los Baños, Philippines). **Climate and rice**. Los Baños, 1976. p. 471-494.

ZONTA, E. P., MACHADO, A. A. Sistema de Análise Estatística para Microcomputadores, Pelotas – UFPel. 1984. 75p.