

VARIABILIDADE ANUAL E INFLUÊNCIA MICROCLIMÁTICA DA IRRIGAÇÃO POR ALAGAMENTO SOBRE A RELAÇÃO ENTRE A RADIAÇÃO FOTOSINTETICAMENTE ATIVA E A IRRADIÂNCIA SOLAR GLOBAL EM PARAÍSO DO SUL - RS

LEONARDO J. G. AGUIAR¹, JOSÉ M. N. DA COSTA², CLAUDIO TEICHRIEB³, VIRNEI S. MOREIRA⁴, DÉBORA R. ROBERTI⁵, GRACIELA R. FISCHER⁶, RENATA G. AGUIAR⁷, EVANDRO C. OLIVEIRA⁸, LEONARDO O. NEVES⁹, OSVALDO L. L. MORAIS¹⁰

¹ Doutorando em Meteorologia Agrícola, Depto. Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa – UFV, Fone: (0xx31) 3899 1901, veraneiro@yahoo.com.br

² Eng. Agrônomo, Prof. Titular, Depto. Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa – MG.

³ Doutorando em Física, Depto. Física, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Santa Maria – RS.

⁴ Doutorando em Física, Depto. Física, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Santa Maria – RS.

⁵ Física, Prof. Adjunto, Depto. Física, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Santa Maria – RS.

⁶ Doutoranda em Meteorologia Agrícola, Depto. Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa – MG.

⁷ Matemática, Prof. Assistente, Depto. Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Rondônia – UNIR, Ji-Paraná – RO.

⁸ Doutorando em Meteorologia Agrícola, Depto. Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa – MG.

⁹ Doutorando em Meteorologia Agrícola, Depto. Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa – MG.

¹⁰ Físico, Prof. Adjunto, Depto. Física, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Santa Maria – RS.

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

RESUMO: A radiação fotossinteticamente ativa (PAR) assume papel fundamental no desenvolvimento de plantas e, por isso, é muito utilizada em diversos tipos de modelos ecofisiológicos e climáticos. Entretanto, muitos modelos usam valores indiretos da PAR baseados na irradiância solar global (R_s), considerando que a PAR é representada por uma fração constante da R_s . Tendo em vista que uma melhor representação da relação entre a PAR e a R_s poderia melhorar o desempenho desses modelos, objetivou-se nesse estudo analisar a variação sazonal da relação entre a PAR e a R_s . O estudo foi realizado em um sítio experimental em que há o cultivo de arroz irrigado por alagamento no Estado do Rio Grande do Sul. A razão PAR/ R_s obteve pouca variabilidade, variando de 0,442 (inverno) a 0,455 (verão), diferindo aproximadamente 2%. A pouca variabilidade sazonal, independente da condição atmosférica e do solo, inundado ou seco, possibilita a utilização de uma fração constante da R_s (valor médio anual de 0,45) para representar a PAR em modelos climáticos nessa região.

PALAVRAS-CHAVE: Modelos, índice de claridade, absorção da radiação.

ANNUAL VARIABILITY AND MICROCLIMATIC INFLUENCE OF IRRIGATION BY FLOODING ON THE RELATIONSHIP BETWEEN PAR AND GLOBAL SOLAR IRRADIANCE IN PARAÍSO DO SUL, BRAZIL

ABSTRACT: Photosynthetically active radiation (PAR) plays a critical role in plant development and therefore is widely used in various kinds of ecophysiological and climatic models. However, many models use indirect values of PAR based on global solar irradiance (R_s), whereas PAR is represented by a constant fraction of R_s . Given that a better representation of the relationship between the PAR and the R_s could improve the performance of these models, this study provides an analysis of the seasonal variation of the relationship

between PAR and R_s . The study is performed in an experimental site in the Brazilian state of Rio Grande do Sul where rice is cultivated by flooding irrigation. The ratio of PAR/ R_s had little variability, ranging from 0.442 (winter) to 0.455 (summer) - differing by about 2%. The low seasonal variability, independent of atmospheric and soil conditions, flooded or dry, supports the use of a constant fraction of the R_s (annual average value of 0.45) to represent the PAR in climatic models of this region.

KEYWORDS: Models, clearness index, absorption of radiation.

INTRODUÇÃO: A radiação fotossinteticamente ativa (PAR) assume papel fundamental no desenvolvimento de plantas (AL-SHOOSHAN, 1997), sendo utilizada em diversos modelos ecofisiológicos, bem como em modelos climáticos. Entretanto, devido a relação praticamente linear existente entre a PAR e a irradiância solar global (R_s), muitos modelos climáticos utilizam a R_s como variável de entrada, considerando que a PAR seria uma fração constante da R_s . Tal suposição pode acarretar em erros na determinação da quantidade da PAR disponível, e, conseqüentemente, nas simulações realizadas pelos modelos climáticos, uma vez que não são consideradas as variações espacial e temporal da relação entre a PAR e a R_s (ZHANG et al., 2000). No Brasil, poucos estudos experimentais foram realizados para analisar essa relação, principalmente em culturas agrícolas, o que dificulta a adaptação de modelos climáticos que melhor representem a realidade do Brasil, um país com grande produção agrícola. Por sua vez, a cultura do arroz irrigado por alagamento é uma das principais culturas agrícolas do Estado do Rio Grande do Sul, cobrindo uma área plantada estimada em 1,079 milhões de hectare na safra de 2009/2010, tornando o Estado o maior produtor de arroz do país, com uma produção estimada em 6,92 milhões de toneladas (CONAB, 2010). Devido a grande extensão de área plantada da cultura, objetivou-se nesse estudo analisar a variação sazonal da razão PAR/ R_s , bem como a influência microclimática da irrigação por alagamento em sua relação, uma vez que uma boa caracterização da razão PAR/ R_s e, conseqüentemente, a utilização de dados mais realísticos da PAR, poderia melhorar o desempenho dos modelos climáticos no Estado do Rio Grande do Sul.

MATERIAL E MÉTODOS: O presente estudo foi realizado em um sítio experimental pertencente à Rede SULFLUX, localizado no município de Paraíso do Sul, no Estado do Rio Grande do Sul. O sítio experimental de Paraíso do Sul (29°39'36''S; 53°8'53''W, 108 m) encontra-se no centro de uma região de plantação de arroz irrigado por alagamento, com uma bordadura de aproximadamente 1 km em todas as direções. Geralmente, durante os meses de novembro a abril, a cobertura vegetal predominante é a cultura do arroz irrigado por alagamento, em que o solo se encontra inundado. Nos outros meses do ano o solo permanece seco e nu, havendo um esparso crescimento de ervas daninhas. Para a realização desse trabalho foram feitas medições contínuas de irradiância solar global (R_s), através de um piranômetro CM6B (Kipp&Zonen), radiação fotossinteticamente ativa (PAR), por um sensor quântico LI-191SA (LI-COR), precipitação (P), através de um pluviômetro Rain Gauge TB4 (Hydrological Services Pty. Ltd.), temperatura (T) e umidade relativa do ar (UR), usando um termohigrômetro HMP45C (Vaisala Inc.), e pressão atmosférica, por um PTB101B (Vaisala Inc.). Esses dados foram coletados durante 12 meses, no período de julho de 2003 a junho de 2004, em uma torre micrometeorológica com 10 m de altura. As leituras foram realizadas em intervalos de um segundo, e médias armazenadas a cada 30 minutos em um datalogger CR10X, fabricado pela Campbell Scientific Instrument, Utah, USA. No período estudado, o arroz foi cultivado no dia 25 de novembro e colhido no dia 4 de abril, sendo que o solo foi inundado apenas no dia 25 de dezembro. Foram realizadas algumas avaliações para garantir a

qualidade dos dados utilizados. Primeiro, somente dados dos dias em que não houve interrupção nas medidas foram utilizados nas análises, totalizando 362 dias de dados. Segundo, apenas dados entre 6 e 18 horas foram utilizados, para evitar a utilização de dados discrepantes que ocorrem quando a elevação do sol é baixa. Finalmente, foi realizada uma filtragem nas séries de dados para eliminar valores espúrios, como, por exemplo, valores da irradiância solar global acima de 1200 W m^{-2} . A pressão de saturação do vapor d'água (e_s , em hPa), foi calculada a partir da equação de Tetens (1930) para temperatura maior ou igual a 0°C (1). A pressão atual do vapor d'água (e , em hPa) foi calculada utilizando a e_s e a umidade relativa (UR) (2). A umidade específica (q , em g kg^{-1}) foi calculada utilizando a pressão atual do vapor d'água e a pressão atmosférica (P) (3). A temperatura do ponto de orvalho (T_{po} , em $^\circ\text{C}$) foi calculada utilizando a pressão do vapor d'água (4).

$$e_s = 6.1078 \times 10^{\frac{7.5t}{237.3+t}} \quad (1)$$

$$e = \frac{UR e_s}{100} \quad (2)$$

$$q = \frac{0.622e}{P - 0.378e} \times 1000 \quad (3)$$

$$T_{po} = \frac{186.4905 - 237.3 \log_{10} e}{\log_{10} e - 8.2859} \quad (4)$$

A radiação solar extraterrestre diária e horária foi estimada usando a relação geométrica Terra-Sol (Iqbal, 1983) e a constante solar 1367 W m^{-2} .

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Foi encontrada uma boa relação entre o índice de claridade (k_t , razão entre a irradiância solar à superfície e a irradiância solar no topo da atmosfera) e a razão PAR/R_s (Figura 1), principalmente nos meses de agosto a março, com maiores valores do k_t e da razão PAR/R_s ocorrendo no mês de janeiro, sendo de 0,59 e 0,457, respectivamente, enquanto os menores foram observados no mês de julho para o k_t (0,4) e de setembro para a razão PAR/R_s (0,439).

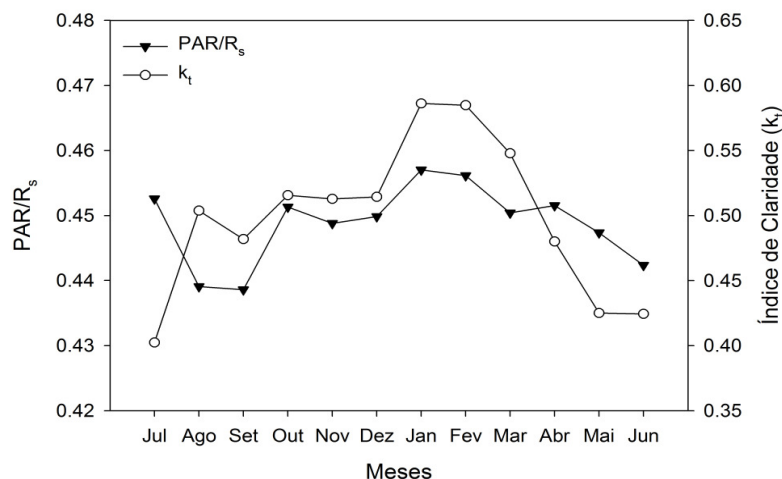


Figura 1. Padrão anual da razão PAR/R_s e do índice de claridade (k_t).

Porém, essa relação encontrada, com maiores valores da razão PAR/R_s ocorrendo quando o k_t é maior, está em desacordo com pesquisas anteriores, o que pode ter ocorrido devido ao comportamento do k_t , sendo menor nos meses de inverno (julho a setembro) e maior nos

meses de verão (janeiro a março). Geralmente ocorre o contrário, o k_t é menor nos meses de verão e maior nos de inverno. Adicionalmente, os maiores valores da umidade específica nos meses de verão (Tabela 1) podem estar exercendo maior influência na razão PAR/R_s do que o k_t , uma vez que o vapor d'água tem forte poder de absorção na banda do infravermelho, diminuindo, portanto, a irradiância solar global enquanto a banda espectral da radiação fotossinteticamente ativa permanece inalterada (JACOVIDES et al., 2004). Por sua vez, a relação existente entre a PAR e a R_s não depende apenas do valor do k_t , mas também do tipo, extensão e distribuição das nuvens na atmosfera (JACOVIDES et al., 2007). Alados-Arboledas et al. (2000) relatam que nuvens de baixo e médio nível afetam mais marcadamente a PAR do que nuvens de alto nível.

A pouca variabilidade mensal da razão PAR/R_s observada nesse estudo está de acordo com resultados encontrados em outros trabalhos, como os de McCree (1966) e Papaioannou et al. (1993), em que segundo os autores, quando se trata de valores médios diários e mensais, há uma forte evidência experimental de que nas regiões de médias e altas latitudes a relação entre a PAR e a R_s é pouco afetada pelas condições atmosféricas. Quando analisamos os valores por estação (Tabela 1), a variabilidade na razão PAR/R_s se torna ainda menor, variando de 0,442 (inverno) a 0,455 (verão), diferindo aproximadamente 2% entre os valores mínimo e máximo, o que é menor do que o erro de medida dos sensores, que é de cerca de 4%.

Tabela 1. Valores médios sazonais e por condição de solo da irradiância solar global (R_s , em $MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$), radiação fotossinteticamente ativa (PAR, em $MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$), índice de claridade (k_t), razão PAR/R_s , temperatura média do ar (T_{ar} , em $^{\circ}C$) e umidade específica (q , em $g\ kg^{-1}$).

	R_s	PAR	k_t	PAR/R_s	T_{ar}	q
Solo Seco	15,89	7,09	0,48	0,446	17,86	9,56
Solo Inundado	23,68	10,77	0,57	0,455	25,48	14,47
Inverno	12,48	5,52	0,46	0,442	15,62	8,49
Primavera	22,59	10,16	0,51	0,450	22,82	12,23
Verão	23,86	10,85	0,57	0,455	25,42	14,38
Outono	10,69	4,79	0,44	0,448	19,21	11,36
Anual	17,40	7,83	0,50	0,449	20,77	11,62

Para verificar a possível influência da irrigação por alagamento sobre a relação entre a PAR e a R_s , utilizou-se dois períodos distintos de dados, sendo considerado como solo seco o período de julho a novembro e como solo inundado o período de janeiro a março. Apesar de haver grandes diferenças nas quantidades de irradiância solar global, radiação fotossinteticamente ativa, índice de claridade, temperatura média do ar e umidade específica entre os dois períodos (Tabela 1), a razão PAR/R_s não variou muito, apenas aproximadamente 2%, o que é menor do que o erro de medida dos sensores. Essa pequena variabilidade reforça a idéia de que a razão PAR/R_s tem uma natureza conservativa (FINCH et al., 2004). O maior valor da razão PAR/R_s ocorreu no período em que o solo se encontrava inundado, o que é justificado pela maior quantidade de vapor d'água na atmosfera.

CONCLUSÕES: Nesse estudo verificou-se a variabilidade anual da razão PAR/R_s , bem como as diferenças causadas pela irrigação por alagamento da cultura do arroz na razão PAR/R_s para a região de Paraíso do Sul - RS. Apesar de haver grande variabilidade sazonal na quantidade de irradiância solar global, radiação fotossinteticamente ativa, índice de claridade e umidade específica durante o ano, a razão PAR/R_s diferiu pouco entre os valores máximo

(verão) e mínimo (inverno), sendo a diferença menor do que o erro de medida dos sensores. As diferenças no microclima causadas pela irrigação por alagamento da cultura do arroz também não tiveram grande influência na razão PAR/R_s. A pouca variabilidade sazonal, independente da condição atmosférica e do solo, possibilita a utilização de uma fração constante da R_s para representar a PAR nessa região, podendo ser utilizado o valor médio anual de 0,45. Entretanto, para que esse valor médio anual possa ser utilizado para o todo o Estado do Rio Grande do Sul, são necessários mais estudos da razão PAR/R_s em outras localidades, para que possamos, assim, verificar se esse valor é realmente representativo do Estado, ou apenas da região de Paraíso do Sul.

AGRADECIMENTOS: Agradecemos aos estudantes bolsistas da Universidade Federal de Santa Maria pela coleta dos dados, sem os quais essa pesquisa não poderia ser realizada. O primeiro autor agradece a CAPES pelo apoio financeiro dado através da concessão de bolsa de doutorado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALADOS-ARBOLEDAS, L.; OLMO, F. J.; PÉREZ, M. Parametric models to estimate photosynthetically active radiation in Spain. *Agric. For. Meteorol.*, v. 101, p. 187–201, 2000.
- AL-SHOOSHAN, A. A. Estimation of photosynthetically active radiation under an arid climate. *J. Agric. Eng. Res.*, v. 66, p. 9-13, 1997.
- CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira:** grãos-safra 2009/2010. Brasília, julho/2010. 41 p, 2010.
- FINCH, D. A.; BAILEY, W. G.; MCARTHUR, L. J. B.; NASITWITWI, M. Photosynthetically active radiation regimes in a southern African savanna environment. *Agric. Forest Meteorol.*, v. 122, p. 229–238, 2004.
- IQBAL, M. *An Introduction to Solar Radiation*. Academic Press, Toronto, 1983.
- JACOVIDES, C. P.; TYMVIOS, F. S.; PAPAIOANNOU, G.; ASIMAKOPOULOS, D. N.; THEOFILOU, C. M. Ratio of PAR to broadband solar radiation measured in Cyprus. *Agric. Forest Meteorol.*, v. 121, p. 135–140, 2004.
- JACOVIDES, C. P.; TYMVIOS, F. S.; ASSIMAKOPOULOS, V. D; KALTSOUNIDES, N. A. The dependence of global and diffuse PAR radiation components on sky conditions at Athens, Greece. *Agric. For. Meteorol.*, v. 143, p. 277–287, 2007.
- MCCREE, K. J. A solarimeter for measuring photosynthetically active radiation. *Agric. Meteorol.*, v. 3, p. 353–366, 1966.
- PAPAIOANNOU, G.; PAPANIKOLAOU, N.; RETAILS, D. Relationships of photosynthetically active radiation and shortwave irradiance. *Theor. Appl. Climatol.*, v. 48, p. 23–27, 1993.
- TETENS, O. Über einige Meteorologische Begriffe. *Z. Geophys.*, v. 6, p. 297–309, 1930.
- ZHANG, X. ; ZHANG, Y. ; ZHOUB, Y. Measuring and modelling photosynthetically active radiation in Tibet Plateau during April-October. *Agric. For. Meteorol.*, v. 102, p. 207–212, 2000.