

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA
CAMPUS ITAQUI
CURSO DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**EFICIÊNCIA DO USO DA RADIAÇÃO SOLAR EM
ARROZ DE TERRAS BAIXAS IRRIGADO POR
ASPERSÃO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Cássio Almeida Kostulski

**Itaqui, RS, Brasil
2018**

CÁSSIO ALMEIDA KOSTULSKI

**EFICIÊNCIA DO USO DA RADIAÇÃO SOLAR EM ARROZ DE
TERRAS BAIXAS IRRIGADO POR ASPERSÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), como requisito parcial para obtenção do grau de **Engenheiro Agrônomo**.

Orientador: Cleber Maus Alberto

Itaqui, RS, Brasil
2018

K86e

Kostulski, Cássio Almeida.
EFICIÊNCIA DO USO DA RADIAÇÃO SOLAR EM ARROZ DE
TERRAS BAIXAS IRRIGADO POR ASPERSÃO / Cássio
Almeida Kostulski
33 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -
Universidade Federal do Pampa, AGRONOMIA, 2018.
Orientação: Cleber Maus Alberto

1. Oryza sativa. 2. Irrigação. 3. Eficiência do
uso da água. I. Alberto, Cleber Maus. II.
Eficiência do uso da radiação solar em arroz de
terras baixas irrigado por aspersão


CÁSSIO ALMEIDA KOSTULSKI

**EFICIÊNCIA DO USO DA RADIAÇÃO SOLAR EM ARROZ DE
TERRAS BAIXAS IRRIGADO POR ASPERSÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Graduação em Agronomia da
Universidade Federal do Pampa
(UNIPAMPA), como requisito parcial para
obtenção do grau de **Engenheiro Agrônomo**.

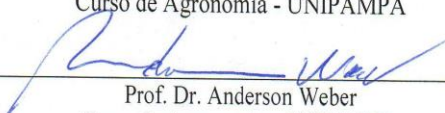
Trabalho de conclusão de curso defendido e aprovado em: 10/07/2018

Banca examinadora:

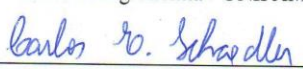


Prof. Dr. Cleber Maus Alberto
Orientador

Curso de Agronomia - UNIPAMPA



Prof. Dr. Anderson Weber
Curso de Agronomia - UNIPAMPA



Prof. Dr. Carlos Eduardo Schaedler
Curso de Agronomia - UNIPAMPA

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, José e Elaine, que trabalham de forma incansável para eu estar realizando a graduação, e este trabalho, sem a presença de vocês ao meu lado, eu jamais estaria aqui hoje.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais José e Elaine, a minha irmã Camila, por me apoiar e auxiliar em todos momentos que necessitei, servindo como base para meu crescimento.

Aos colegas do Grupo de Estudos em Água e Solos (GEAS), Gabriel, Felipe e Lorenzo, que também trabalharam na condução dos experimentos que resultaram nesse TCC.

Ao professor Cleber pela orientação desde o primeiro ano de faculdade, transmitindo seu conhecimento e companheirismo, estimulando meu desenvolvimento acadêmico e pessoal.

Aos professores Anderson Weber e Carlos Schaedler por ter aceitado o convite para compor essa banca de trabalho de conclusão de curso.

Aos colegas que me acompanharam desde o primeiro semestre Gabriel, João Carrício, João Vitor, Mateus, Lorenzo, João Pedro e Alexandre pelas inúmeras ajudas em trabalhos e provas, e também pela parceria, em festas, momentos de descontração e histórias que serão levadas por muitos anos, como grandes amizades.

EPÍGRAFE

Sonhos determinam o que você quer. Ação
determina o que você conquista.

Aldo Novak

RESUMO

EFICIÊNCIA DO USO DA RADIAÇÃO SOLAR EM ARROZ DE TERRAS BAIXAS IRRIGADO POR ASPERSÃO

Autor: Cássio Almeida Kostulski

Orientador: Cleber Maus Alberto

Itaqui, 10 de julho de 2018.

O objetivo deste trabalho foi determinar a eficiência do uso da radiação (EUR) solar em cultivares de arroz de terras baixas com diferentes lâminas de irrigação por aspersão. Foram conduzidos três experimentos a campo, na área experimental da Universidade Federal do Pampa, nos anos agrícolas 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017. No primeiro ano agrícola (2014/2015) os tratamentos foram compostos de três cultivares de arroz de terras baixas (XP 102, IRGA 428 e IRGA 429), em cinco lâminas de irrigação por aspersão, 0, 50, 100 e 150 e 200% da evapotranspiração da cultura (ETc), com quatro repetições. No segundo ano agrícola os tratamentos foram compostos de três cultivares de arroz de terras baixas (IRGA 409, IRGA 428 e IRGA 424), cinco lâminas de irrigação por aspersão (0, 50, 100, 150 e 200% da ETc), com quatro repetições. No terceiro experimento o tratamento consistiu da semeadura da cultivar IRGA 424 RI, com cinco lâminas de irrigação por aspersão (50, 100, 150 200 e 250% da ETc) e quatro repetições. Para a determinação da produção de grãos e massa seca de parte aérea (MSPA) foi obtida com duas amostragens de 0,25 m², totalizando 0,5 m², quando as plantas estavam em maturidade fisiológica (R9). A EUR para produtividade de grãos foi obtida pela equação, $EUR = \text{produtividade de grãos} / K_d$. Já a EUR para parte aérea foi obtida pela equação $MSPA (\text{exceto grãos}) / K_d$. A ANOVA foi realizada no software SISVAR e as análises estatísticas e gráficos foram realizados no software SIGMAPLOT 10.0. Os maiores valores de MSPA e produtividade foram encontrados no ano agrícola 2014/2015, e conseqüentemente maior EUR, seguido do ano agrícola 2016/2017. O ano 2015/2016 foi prejudicado devido ao El Niño forte ocorrido no período de cultivo. Na maior parte dos tratamentos, a EUR de produtividade de grãos seguiu comportamento logístico, tendo tendência a estabilizar a partir da lamina de 150% da ETc. Já a EUR de parte aérea seguiu comportamento linear, com exceção do ano agrícola 2014/2015. A partir desse estudo, pode-se verificar que a retirada da lâmina de água sobre a superfície do solo altera a EUR para produtividade de grãos e biomassa de parte aérea. As cultivares de arroz de terras baixas

testadas adaptam-se ao sistema de irrigação por aspersão, e as lâminas de 150, 200 e 250% da ETc alcançam valores de EUR próximos ao do sistema de cultivo de irrigação por inundação.

Palavras-chave: *Oryza sativa*, irrigação, eficiência do uso da água.

ABSTRACT

SOLAR RADIATION USE EFFICIENCY IN LOWLAND RICE IRRIGATED BY SPRINKLING

Author: Cássio Almeida Kostulski

Advisor: Cleber Maus Alberto

Itaqui, July 10, 2018.

The objective of this study was to determine the efficiency of the use of solar radiation (EUR) in lowland rice cultivars with different sprinkler irrigation layers. Three experiments were carried out in the field, on the experimental area of the Federal University of Pampa, in the growing seasons 2014/2015, 2015/2016 and 2016/2017. In the first year (2014/2015) the treatments were composed by three lowland rice (XP 102, IRGA 428 and IRGA 429), five irrigation layers, 0, 50, 100 and 150 and 200% of crop evapotranspiration (ETc), with four replications. In the second year, treatments were composed by three lowland rice cultivars (BR IRGA 409, IRGA 428 and IRGA 424), five irrigation layers (0, 50, 100, 150 and 200%) with four replications. In the third growing season, the treatment was composed by the IRGA 424 RI irrigated by five layers (50, 100, 150, 200 and 250% of Etc) and four replications. To determine the grain yield and the shoot dry mass (SDM) was obtained with two samples of 0.25 m², 0.5 m² total, when the plants were at physiological maturity (R9). A EUR for grain yield was obtained by the equation, grain yield = EUR /K↓. Already EUR to AGDM was obtained by the equation AGDM /K↓. ANOVA was performed by the software SISVAR and statistical analysis and graphs were performed in SIGMAPLOT 10.0. The largest SDM values and grain yield were found in the agricultural year 2014/2015, and consequently higher EUR, followed by the agricultural year 2016/2017. The year 2015/2016 was hampered due to the El Niño Strong occurred in the cultivation period. In most treatments, grain yield EUR followed a logistic behavior, having a tendency to stabilize on the 150% ETc irrigation layer. Already the SDM EUR presented linear behavior, with the exception of the agricultural year 2014/2015. From this study, it can be verified that the removal of the water slide on the soil surface changes the EUR for grain yield and SDM. The lowland rice cultivars tested are adapted to the sprinkler irrigation system, and the slides of 150, 200 and 250% of ETc reach EUR values close to that of the flood irrigation system.

Keywords: *Oryza sativa*, irrigation, water use efficiency.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Precipitação pluviométrica (mm) e evapotranspiração da cultura (mm), no período emergência – R9 (COUNCE, 2000), dos anos agrícolas 2014/2015 (a), 2015/2016 (b) e 2016/2017 (c). A linha tracejada representa o momento em que 50% das plantas atingiram R1 (COUNCE, 2000). Itaqui, RS, Brasil.20
- Figura 2: Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), no período emergência – R9 (COUNCE, 2000), dos anos agrícolas 2014/2015 (a), 2015/2016 (b) e 2016/2017 (c). A linha tracejada representa o momento em que 50% das plantas atingiram R1 (COUNCE, 2000). Itaqui, RS, Brasil.....21
- Figura 3: Densidade de fluxo de radiação solar global diária ($\text{MJ m}^2 \text{ dia}^{-1}$) durante o período de emergência – R9 (COUNCE, 2000), dos anos agrícolas 2014/2015 (a), 2015/2016 (b) e 2016/2017 (c). A linha tracejada representa o momento em que 50% das plantas atingiram R1 (COUNCE, 2000). Itaqui, RS, Brasil..22
- Figura 4: Eficiência do uso da radiação solar para produtividade de grãos (a) e parte aérea (b) para arroz de terras baixas em função das diferentes lâminas de irrigação por aspersão no ano agrícola 2014/2015. Itaqui, RS, Brasil.23
- Figura 5: Eficiência do uso da radiação solar para produtividade de grãos nas cultivares IRGA 428 (a), IRGA 424 (b) e IRGA 409 (c) e para parte aérea nas cultivares IRGA 428 (d), IRGA 424 (e) e IRGA 409 (f) em função das lâminas de irrigação por aspersão no ano agrícola 2015/2016. Itaqui, RS, Brasil.26
- Figura 6: Eficiência do uso da radiação solar para produção de grãos (a) e parte aérea (b) para a cultivar de arroz IRGA 424 RI, em função das lâminas de irrigação por aspersão no ano agrícola 2016/2017. Itaqui, RS, Brasil,.27

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 Objetivo geral.....	16
1.2 Objetivos específicos.....	16
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	17
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
3.1 Dados meteorológicos.....	19
3.2 Eficiência do uso da radiação	22
4 CONCLUSÃO	30
5 REFERÊNCIAS	31

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional cada vez mais gera impacto no setor agrícola, devido a necessidade de suprir a crescente demanda mundial de alimentos. Aumentar a produção de grãos em um cenário de escassez hídrica, diminuição das áreas agricultáveis e mudanças climáticas é o grande desafio da agricultura na atualidade (BOUMAN, 2007). Nessa situação, há necessidade de se buscar manejos alternativos para a produção de arroz (*Oryza sativa* L.), que reduzam o impacto ambiental e garantam a segurança alimentar.

O arroz é o principal alimento para mais da metade da população mundial (LI et al., 2015). É o segundo cereal mais cultivado no mundo, com produção de cerca de 760 milhões de toneladas e apresenta maior potencial de aumento de produção na atualidade (FAO, 2016). O estado do Rio Grande do Sul é responsável por cerca de 70% do arroz produzido no Brasil (SOSBAI, 2016), e grande parte do arroz cultivado no estado utiliza o sistema de irrigação por inundação. Esse sistema apresenta elevada demanda hídrica, pois é necessário manter a lâmina de água na superfície do solo durante cerca de 3/4 do ciclo de cultivo (SOSBAI, 2016). Isso promove elevada perda de água devido a fatores como evaporação, fluxo lateral e percolação profunda (XUE et al. 2006; VORIES et al. 2017). Nesse contexto, torna-se importante o estudo que possibilite a redução no uso da água para produção de arroz.

Diante disso, a irrigação por aspersão surge como alternativa para reduzir o volume de água usado pela cultura, pois não há necessidade de manter a lâmina de água sobre a superfície do solo. Este método de irrigação visa fornecer água suplementar a da precipitação, na quantidade e momento adequado, atendendo as necessidades hídricas da cultura, proporcionando assim, ambiente ideal ao crescimento e desenvolvimento das plantas (ALBUQUERQUE; DURÃES, 2008).

Além de aumentar a eficiência do uso da água, a irrigação por aspersão estimula o uso de práticas de maior nível tecnológico, conseqüentemente, aumentando a produtividade (ARF et al., 2000). Mesmo suprimindo a necessidade hídrica da cultura, em alguns anos ocorrem quedas na produtividade, causada principalmente por condições meteorológicas adversas, tais como: baixos níveis de radiação solar durante alguns períodos críticos da planta (MOTA, 1994; STEINMETZ; BRAGA, 2001).

Nesse sentido, Stansel (1975), Yoshida e Parao (1976) relatam que a produtividade de grãos da cultura do arroz é altamente influenciada pela disponibilidade de radiação solar, principalmente na fase reprodutiva. Isso acontece, pois toda energia necessária para a

realização da fotossíntese, processo que transforma o CO₂ atmosférico em energia metabólica, é proveniente da radiação solar (TAIZ; ZIEGER, 2004).

De acordo com Shibles e Weber (1965), o total de fitomassa seca produzida pela planta, depende da quantidade de radiação solar interceptada e da eficiência de utilização dessa energia pelo processo fotossintético. Assim, a produtividade de grãos está relacionada à quantidade de radiação solar global incidente ($K\downarrow$), e à eficiência com que esta converte a energia radiante em energia química pela fotossíntese (HEINEMANN et al. 2006).

A razão entre o valor da fitomassa seca da parte aérea e o valor da $K\downarrow$, determina a eficiência de uso da radiação (EUR) ou eficiência fotoquímica da cultura (DAUGHTRY et al. 1992).

No entanto, a retirada da lâmina de água pode influenciar no crescimento e desenvolvimento da cultura e conseqüentemente na sua produtividade. Bosco et al. (2009) relatam que a retirada da lâmina de água promove uma redução na velocidade de emissão de folhas e a redução da área da folha bandeira, podendo influenciar a eficiência do uso da radiação. Portanto, é necessário realizar estudos sobre as alterações fisiológicas e produtivas na cultura, para compreender o comportamento da planta em um ambiente diferente da qual esta é tradicionalmente cultivada. E, assim, determinar as melhores condições de cultivo para expressar o seu potencial produtivo usando o mínimo de recursos.

1.1 Objetivo geral

O objetivo do trabalho é determinar a eficiência do uso da radiação solar em cultivares de arroz de terras baixas com diferentes lâminas de irrigação por aspersão.

1.2 Objetivos específicos

Testar a adaptabilidade de cultivares de arroz de terras baixas irrigado no sistema de irrigação por aspersão.

Quantificar diferenças no crescimento de cultivares de arroz irrigado sob diferentes níveis de disponibilidade hídrica.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos para a determinação da EUR foram conduzidos no município de Itaqui, na área experimental da Universidade Federal do Pampa (Latitude 29°09'21.68'' S; Longitude 56°33'02.58'' W; altitude de 74 m), situado na Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul. Segundo a classificação climática de Köppen, o clima é do tipo Cfa, subtropical sem estação seca definida. O solo da região é classificado como Plintossolo Háptico (EMBRAPA, 2013).

Foram conduzidos três experimentos a campo, nos anos agrícolas 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017. O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso com parcelas subdivididas nos anos agrícolas 2014/2015 e 2015/2016, e blocos ao acaso no ano agrícola 2016/2017. No primeiro ano agrícola (2014/2015) os tratamentos foram compostos de três cultivares de arroz de terras baixas (XP 102, IRGA 428 e IRGA 429), em cinco lâminas de irrigação por aspersão (0, 50, 100 e 150 e 200% da evapotranspiração da cultura ETc), com quatro repetições. No segundo ano agrícola os tratamentos foram compostos de três cultivares de arroz de terras baixas (IRGA 409, IRGA 428 e IRGA 424), cinco lâminas de irrigação por aspersão (0, 50, 100, 150 e 200% da ETc), com quatro repetições. No terceiro ano agrícola consistiu da semeadura da cultivar IRGA 424 RI, com cinco lâminas de irrigação por aspersão (50, 100, 150, 200 e 250% da ETc) e quatro repetições.

As semeaduras foram realizadas nos dias 17 de novembro de 2014, 25 de novembro de 2015 e quatro de outubro de 2016. Nos anos agrícolas 2014/2015 e 2015/2016 cada subparcela experimental foi composta de 18 linhas espaçadas em 0,17 m e cinco metros de comprimento, totalizando área de 15,3 m². No ano agrícola 2016/2017 a parcela consistiu de 54 linhas de semeadura espaçadas em 0,17 m e cinco metros de comprimento, totalizando área de 45,9 m². A densidade de semeadura foi de 100 kg ha⁻¹ (350 sementes m⁻²) para as cultivares IRGA 424, IRGA 428, IRGA 429, BR IRGA 409 e, 50 kg ha⁻¹ (175 sementes m⁻²) para a cultivar XP 102 CL, que é híbrida, o que explica a baixa densidade de semeadura.

A necessidade de irrigação foi determinada a partir da evapotranspiração da cultura (ETc), multiplicando a evapotranspiração de referência (ETo) pelo coeficiente de cultura (Kc). A ETo foi estimada através da equação de Penman-Montheith (ALLEN et al. 1998) a partir de dados de temperatura, umidade relativa do ar, vento e radiação solar obtidos da estação meteorológica automática situada a 200 m do local de cultivo. Os valores de Kc foram de 1,05 até 20 dias após a emergência (DAE), de 1,125 de 21 até 40 DAE, de 1,2 de 41 até 95 DAE, e de 0,9 a partir dos 96 DAE (ALLEN et al. 1998).

A adubação foi realizada de acordo com a recomendação para a cultura de arroz segundo a Comissão de Química e Fertilidade do Solo do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (2004), com estimativa de produção de 12 Mg ha⁻¹ e o pH da área foi corrigido para 6,0. O manejo fitossanitário foi realizado sempre que necessário durante o ciclo da cultura, a fim de minimizar os danos causados por pragas e doenças de acordo com as recomendações técnicas da pesquisa (SOSBAI, 2016).

As amostras para a determinação da produtividade de grãos e massa seca de parte aérea (MSPA) foi obtida com duas amostragens de 0,25 m², por subparcela, totalizando 0,5 m², quando as plantas estavam em R9 (COUNCE et al. 2000). Após a coleta, as amostras foram levadas para laboratório, os grãos foram secados em estufa até umidade de 13% e a MSPA em estufa de ventilação forçada a 65° C por 72 horas, e pesados em balança de precisão.

A EUR para parte aérea foi obtida pela razão entre biomassa seca da parte aérea (exceto grãos) e a radiação solar global incidente (K↓) durante o período de emergência a R9 (COUNCE et al., 2000), conforme equação abaixo:

$$EUR = \frac{\text{Produção de fitomassa seca de parte aérea total (g m}^{-2}\text{)}}{K \downarrow \text{ (MJ m}^{-2}\text{)}}$$

A EUR para produtividade de grãos foi calculada pela equação:

$$EUR = \frac{\text{Produtividade de grãos (g m}^{-2}\text{)}}{K \downarrow \text{ (MJ m}^{-2}\text{)}}$$

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) no software de análise estatística SISVAR (FERREIRA, 2014), e equações foram ajustadas no software SIGMAPLOT 10.0.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Variáveis meteorológicas

Durante o período de cultivo do ano agrícola 2014/2015 foi registrada precipitação pluviométrica de 608,8 mm, valor semelhante às normais climatológicas, que durante o período de novembro a março é de 710 mm (WREGE et al. 2011). Embora o volume precipitado seja próximo da média climatológica, na fase reprodutiva ocorreram 21 eventos de precipitações, sendo estes de baixo volume e de forma irregular, totalizando apenas 237,6 mm, enquanto no período vegetativo foi registrado volume de 371,2 mm (Figura 1a). Para suplementar a precipitação pluviométrica, foram necessárias realizar 19 irrigações.

No ano agrícola 2015/2016 foi registrada precipitação acumulada de 994,4 mm, distribuídos em 34 eventos, sendo superior à média climatológica para a região (Figura 1b). Mesmo com precipitação superior a média, estas foram irregulares e se concentraram no período vegetativo da cultura. Para complementar a precipitação acumulada, foram necessárias 15 irrigações durante o ciclo de desenvolvimento da cultura.

Já para o período de cultivo de 2016/2017, foram contabilizados 46 eventos de precipitação pluviométrica, totalizando 743,8 mm acumulados, similar a média climatológica para a região (Figura 1c). Ao contrário dos anos anteriores, na estação de crescimento 2016/2017 as chuvas foram mais distribuídas ao longo do ciclo, reduzindo a necessidade de irrigações, realizando apenas 10 irrigações.

Para a variável evapotranspiração de referência (ET_o), observaram-se valores de 402,8, 383,5 e 488,3 mm durante o período emergência – R9 (COUNCE et al., 2000), nos anos de 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017, respectivamente. A menor ET_o ocorreu no ano agrícola 2015/2016, ficando mais distante da média climatológica, que para o período é de 450 mm (WREGE et al., 2011). Este fato pode ser explicado devido ao El Niño forte registrado no período, enquanto nos anos agrícolas 2014/2015 e 2016/2017 foram anos neutros (NOAA, 2017).

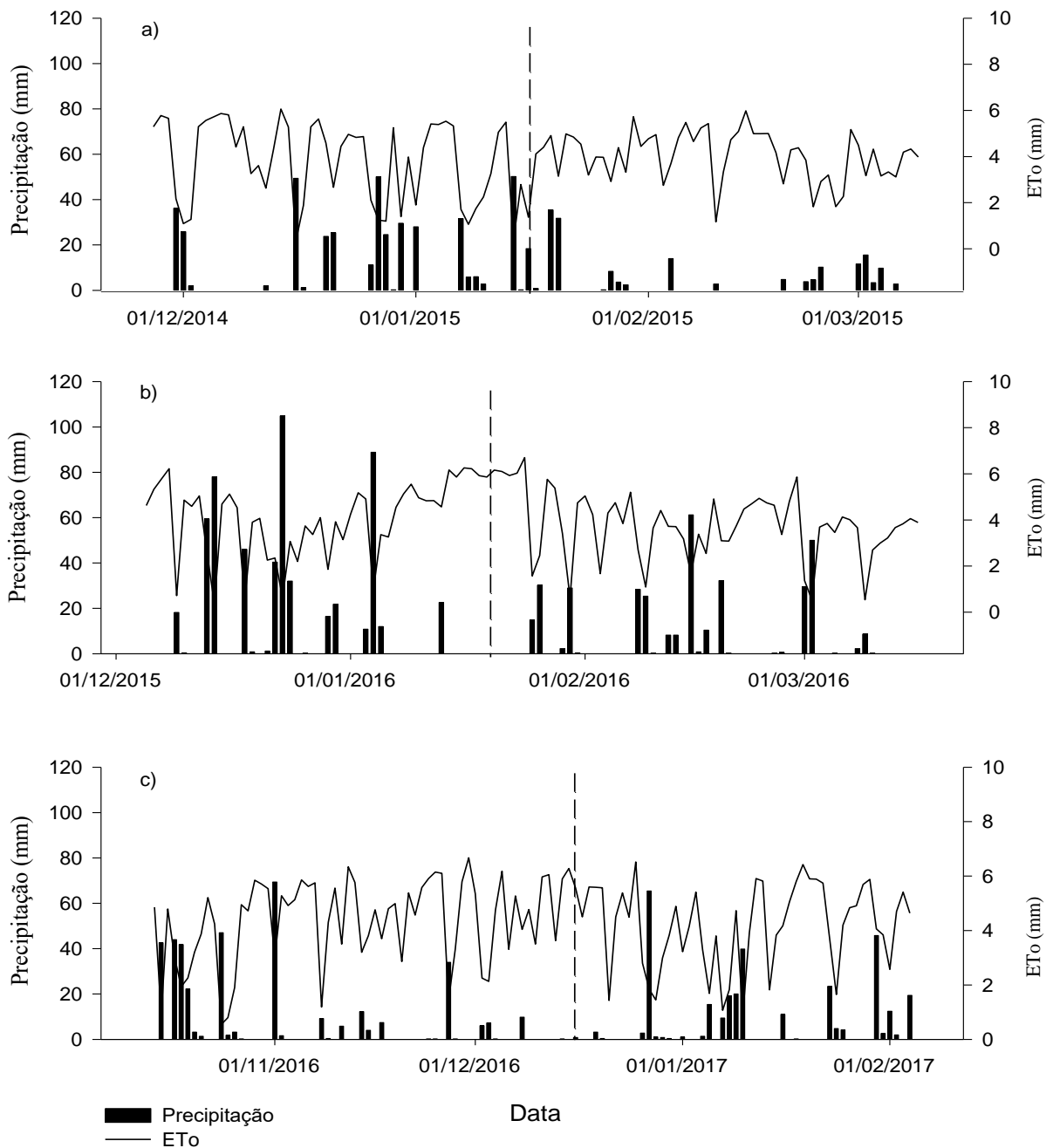


FIGURA 1 - Precipitação pluviométrica (mm) e evapotranspiração da cultura (mm), no período emergência – R9 (COUNCE, 2000), dos anos agrícolas 2014/2015 (a), 2015/2016 (b) e 2016/2017 (c). A linha tracejada representa o momento em que 50% das plantas atingiram R1 (COUNCE, 2000). Itaqui, RS, Brasil.

A média da temperatura mínima diária do ar, nas três estações de cultivo foi de 21,3, 20,9 e 19,1 °C, e a média da temperatura máxima diária do ar foi de 32,56, 31,03 e 29,04 °C para os anos agrícolas de 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017, respectivamente (Figura 2). Valores estes semelhantes as normais climatológicas, que durante o período é de 19,3 °C e 30,8 °C para temperatura mínima e máxima, respectivamente (WREGGE et al., 2011).

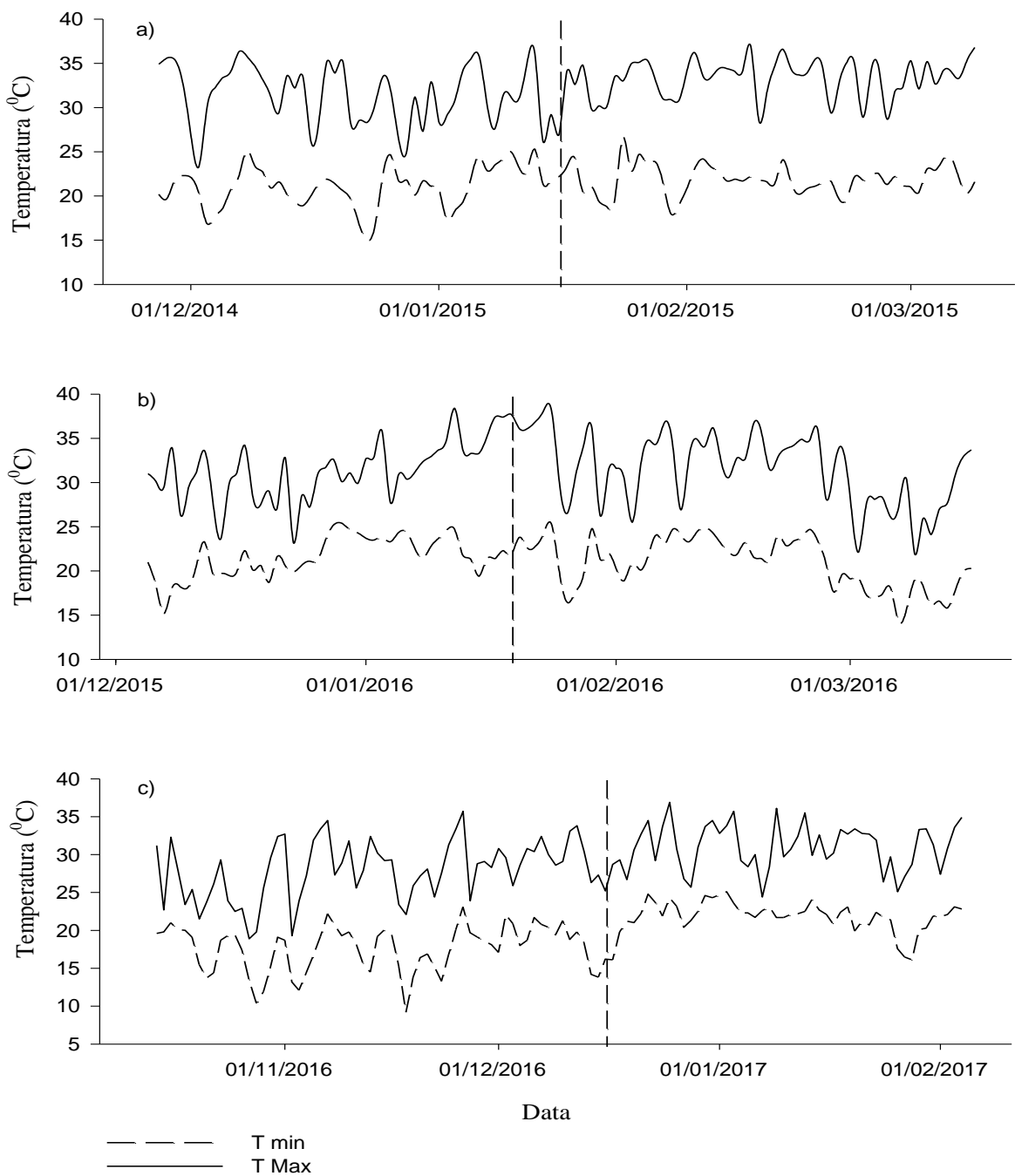


FIGURA 2 – Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), no período emergência – R9 (COUNCE, 2000), dos anos agrícolas 2014/2015 (a), 2015/2016 (b) e 2016/2017 (c). A linha tracejada representa o momento em que 50% das plantas atingiram R1 (COUNCE, 2000). Itaqui, RS, Brasil.

Durante o período de EM – R9, a maior disponibilidade de radiação solar aconteceu no ano agrícola 2014/2015 e 2016/2017 com valores de $2072,17 \text{ MJ m}^2$ e $2337,52 \text{ MJ m}^2$ respectivamente (Figura 3). A menor disponibilidade de radiação solar ocorrida no ano

agrícola 2015/2016 (1972,41 MJ m²) pode ser explicada devido ao El Niño forte registrado no período, já os anos agrícolas 2014/2015 e 2016/2017 foram anos neutros (NOAA, 2017).

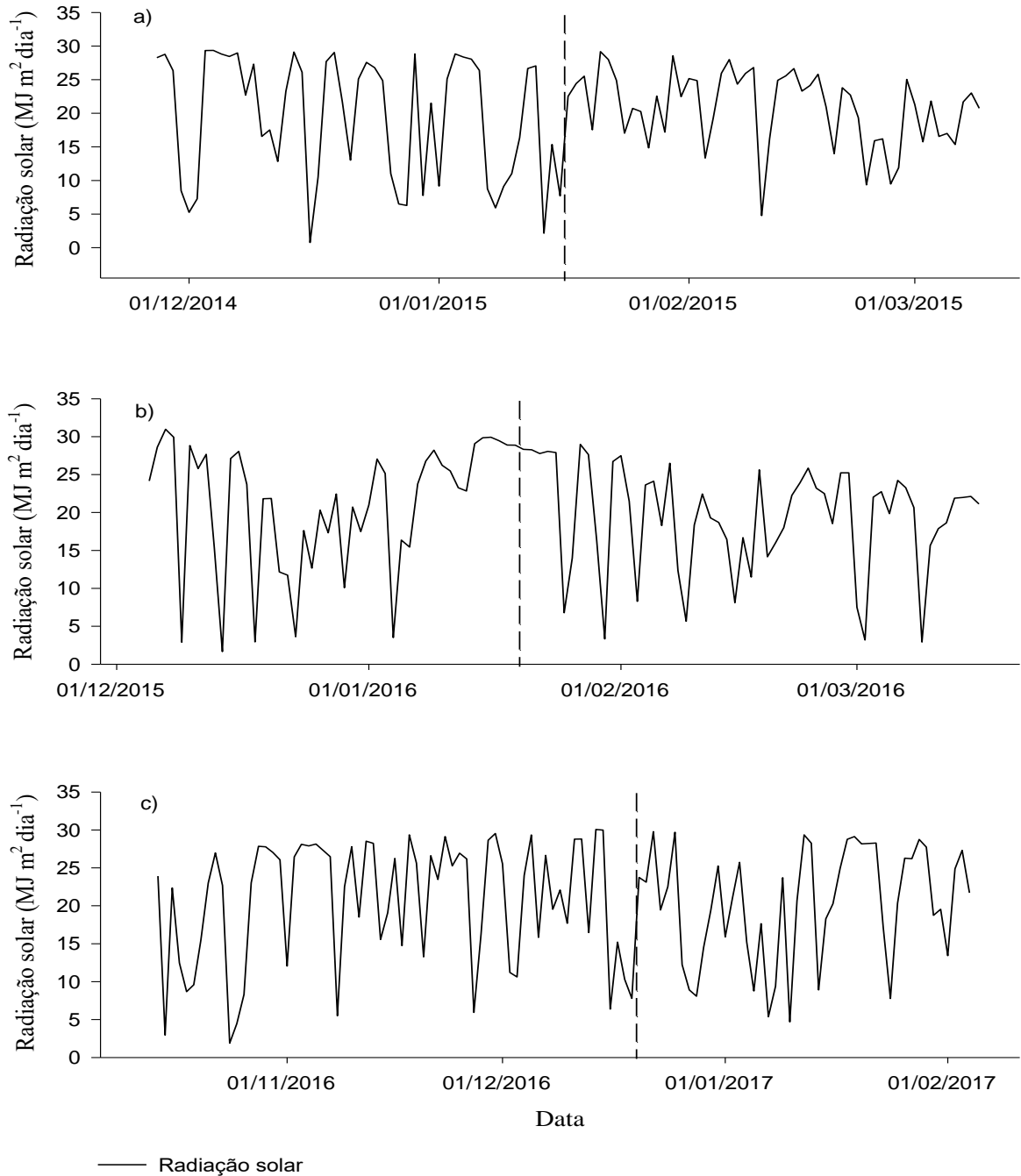


FIGURA 3 – Densidade de fluxo de radiação solar global diária (MJ m² dia⁻¹) durante o período de emergência – R9 (COUNCE, 2000), dos anos agrícolas 2014/2015 (a), 2015/2016 (b) e 2016/2017 (c). A linha tracejada representa o momento em que 50% das plantas atingiram R1 (COUNCE, 2000). Itaquí, RS, Brasil.

3.2 Eficiência do uso da radiação

Para EUR de produtividade de grãos, no ano agrícola 2014/2015, não houve interação entre cultivares, portanto foi ajustado apenas uma regressão para as três cultivares testadas (Figura 4a). A equação apresenta $R^2=0,948$, o que demonstra alta correlação entre os valores observados e ajustados.

Já a EUR de parte aérea não apresentou diferenças entre os tratamentos, sendo inserida apenas uma linha média entre os pontos observados (Figura 4b).

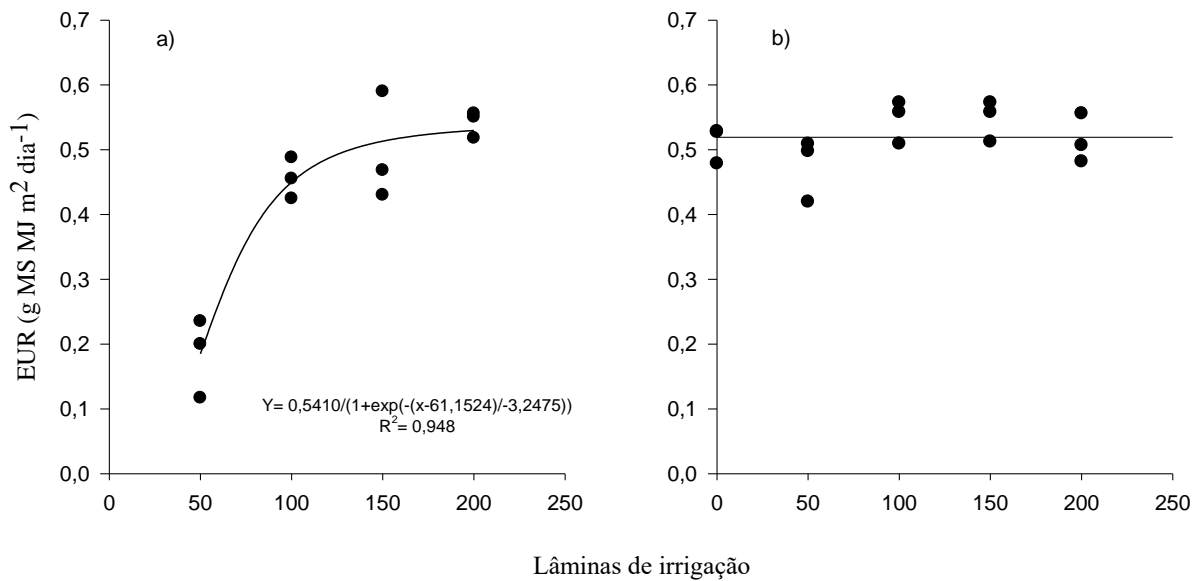


FIGURA 4 - Eficiência do uso da radiação solar para produtividade de grãos (a) e parte aérea (b) para arroz de terras baixas em função das diferentes lâminas de irrigação por aspersão no ano agrícola 2014/2015. Itaqui, RS, Brasil.

A produtividade de grãos no ano agrícola 2014/2015 foi maior à medida que houve aumento na lâmina de irrigação, e conseqüentemente maior EUR. Associada a alta disponibilidade de radiação solar no período reprodutivo da cultura, foi possível obter produtividade de grãos de $12,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ na lâmina de 200% da ETc, seguido pelas lâminas de 150 e 100% da ETc, onde foi obtido produtividades de $10,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ e $9,4 \text{ Mg ha}^{-1}$, respectivamente.

O tratamento sem irrigação não produziu grãos em nenhum dos anos de cultivo, pois somente a precipitação pluviométrica não foi capaz de suprir a demanda hídrica da cultura. O tratamento com 50% da ETc também reduziu a produtividade devido o baixo volume de água irrigado. Sem suprir a demanda hídrica, a produção de grãos é comprometida, pois a água é essencial em diversos mecanismos da planta, como na fotossíntese, e dependendo da sua

disponibilidade, limita o processo e a quantidade de fotoassimilados exportados das folhas para os grãos, limitando assim a formação dos mesmo (TAIZ; ZEIGER, 2009).

A EUR para parte aérea apresentou valores discrepantes, não se ajustando aos modelos testados que possibilite explicar os valores para os pontos observados. Os valores mais baixos foram encontrados na lâmina de 0 e 50% da ETc (Figura 4b) e os mais elevados ($0,56 - 0,57 \text{ g MS MJ m}^2 \text{ dia}^{-1}$) foram encontrados na lâmina de 100 e 150% da ETc, respectivamente, decrescendo na lâmina de 200% da ETc, o que ainda não está claro como a EUR se comportou neste tratamento.

Mesmo nos tratamentos com maior estresse hídrico (0 e 50% da ETc) a diferença de EUR foi baixa. Este comportamento pode ser explicado por Bartz et al. (2017), que afirma que uma redução na disponibilidade de água reduz a taxa de desenvolvimento da planta, o que resulta em uma maior duração da fase vegetativa, acumulando uma maior quantidade MSPA durante o período de desenvolvimento e, conseqüentemente, maior EUR.

Já para o ano agrícola 2015/2016 as cultivares apresentaram crescimento distinto nas diferentes lâminas de irrigação, ocorrendo interação significativa entre cultivar e lâminas de irrigação, ajustando assim, regressões específicas para cada cultivar. Na EUR para produtividade de grãos, foram ajustadas duas regressões sigmoidais para as cultivares IRGA 424 (Figura 5b) e IRGA 409 (Figura 5c), pois as cultivares apresentaram um aumento da EUR até a lâmina de 150% da ETc, e posteriormente apresentou tendência a estabilizar. Já para a cultivar IRGA 428 (Figura 5a) foi ajustado uma regressão linear, pois a cultivar apresentou aumento na EUR conforme o aumento do volume de água aplicado. A EUR de parte aérea seguiu o mesmo comportamento linear, ajustando três equações lineares para as cultivares IRGA 428, IRGA 429 e IRGA 424.

Diante disso, Yang e Zhang (2010) salientam a importância do acúmulo de MSPA, pois na cultura do arroz até 40% da produtividade depende da contribuição da reserva de fotoassimilados armazenados na parte aérea, podendo variar de acordo com a cultivar e ambiente.

Nas cultivares IRGA 424 e IRGA 409, onde não houve estresse hídrico (100, 150 e 200% da ETc) apresentaram maior valores de EUR. Já a lâmina de 50% da ETc apresentou o menor valor de produtividade grãos, e conseqüentemente baixa EUR. A baixa produtividade pode ser explicado por Heinemann (2010), onde relata que estresse hídrico na cultura do arroz, considerados de forte a moderado, principalmente no período reprodutivo, pode comprometer mais de 50% do potencial produtivo da cultura do arroz.

Heinemann (2010) e Crusciol (2001) também relatam que os efeitos do estresse hídrico podem ser agravados quando o solo exerce impedimento físico para o crescimento radicular da planta, tendo como consequência menor nutrição e produtividade de grãos. Pinto et al., (2016) afirmam que a restrição no crescimento do sistema radicular é agravado quando o cultivo de arroz é realizado em solos rasos e não alagados. Fato este que pode ter ocorrido durante a condução dos experimentos devido as condições do solo e suas características hidromórficas, havendo restrição ao desenvolvimento do sistema radicular.

Já para parte aérea, o comportamento não foi o mesmo, assim foi ajustada uma regressão linear. Isso pode demonstrar que o estresse hídrico severo pode afetar de forma mais drástica a produção de grãos, pois há redução na produtividade (lâmina de 50% da ETc) quando comparado a produção de MSPA.

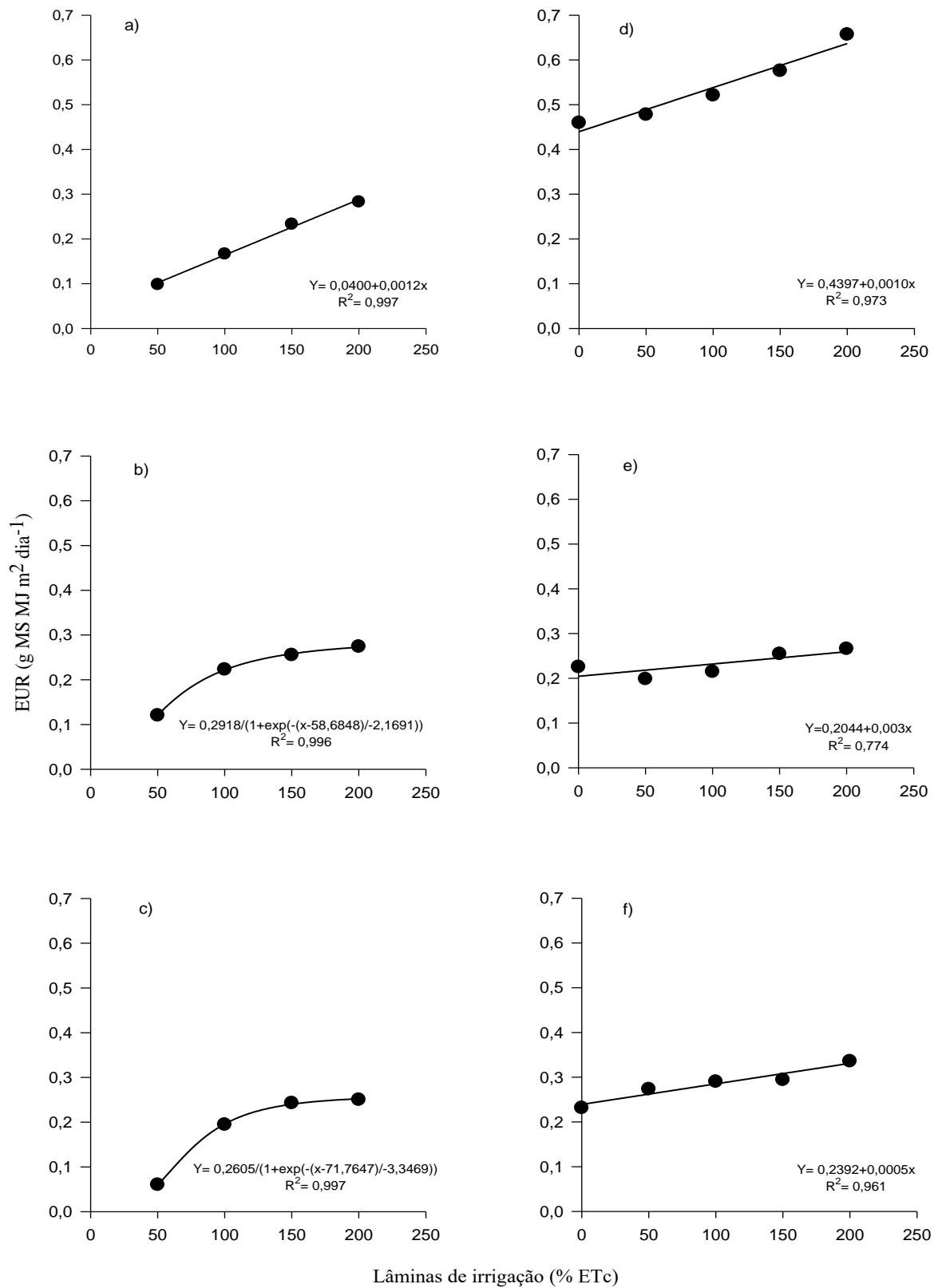


FIGURA 5 - Eficiência do uso da radiação solar para produtividade de grãos nas cultivares IRGA 428 (a), IRGA 424 (b) e IRGA 409 (c) e para parte aérea nas cultivares IRGA 428 (d), IRGA 424 (e) e IRGA 409 (f) em função de lâminas de irrigação por aspersão no ano agrícola 2015/2016. Itaquí, RS, Brasil.

Para o ano agrícola 2016/2017 foi ajustado regressões lineares, para EUR de parte aérea e produtividade com base nos valores observados (Figura 6).

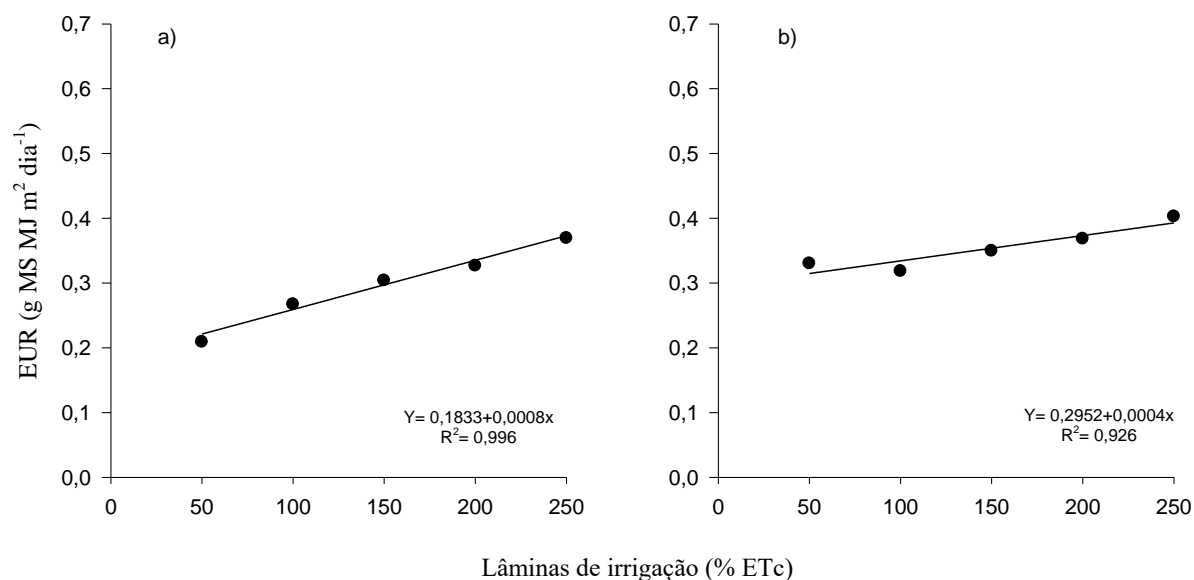


FIGURA 6 - Eficiência do uso da radiação solar para produção de grãos (a) e parte aérea (b) para a cultivar de arroz IRGA 424 RI, em função das lâminas de irrigação por aspersão no ano agrícola 2016/2017. Itaqui, RS, Brasil.

No ano agrícola 2016/2017 a lâmina de irrigação de 250% da ETc resultou em maior MSPA e produtividade, porém não resultou em maior EUR quando comparado aos anos anteriores, mantendo-se semelhante aos demais tratamentos.

Comparando os resultados obtidos nos três anos de experimento, constata-se que o ano agrícola 2014/2015 apresentou os maiores valores de EUR, 0,58 e 0,57 g MS MJ m² dia⁻¹ para produtividade de grãos e parte aérea, respectivamente, com exceção da cultivar IRGA 428 que, no ano agrícola de 2015/2016 alcançou valores de 0,65 g MS MJ m² dia⁻¹ para parte aérea. Pode-se atribuir esses resultados as condições meteorológicas favoráveis ocorridas durante o ciclo de cultivo (2014/2015), principalmente a maior disponibilidade de radiação solar e o uso de cultivares modernas, voltadas a maior extração de recursos do meio.

Os valores de EUR para produtividade de grãos variaram de 0,06 (2015/2016) a 0,58 g MS MJ m² dia⁻¹ (2014/2015) para as lâminas de 50 e 150% da ETc, respectivamente. Já para EUR de parte aérea as maiores variações foram encontrados no ano agrícola de 2015/2016 (0,2 a 0,65 g MS MJ m² dia⁻¹), nas lâminas de 0 e 200% da ETc, respectivamente.

Os maiores valores de EUR variaram de acordo com os anos de cultivo e as cultivares, tendo concentrado os valores mais elevados nas lâminas de 150, 200 e 250% da ETc. De modo geral, pode-se observar que o aumento da EUR ocorreu com o aumento da lâmina de irrigação aplicada. Porém, nas cultivares utilizadas na estação de cultivo 2014/2015 (Figura 4a) e nas cultivares IRGA 409 e IRGA 424 (2015/2016) pode-se visualizar uma tendência a estabilizar a EUR para produtividade de grãos a partir da lâmina de 150% da ETc. Isso pode demonstrar que as lâminas de 150 e 200% da ETc estão próximas de suprir a necessidade hídrica destas cultivares, podendo variar com o estágio de desenvolvimento.

Comparando os valores máximos encontrados neste trabalho (considerando EUR para produtividade de grãos mais de parte aérea) estes são similares ou abaixo dos principais trabalhos encontrados na literatura. Isso pode ser visto no estudo de Bouman et al. (2006), que, avaliando o cultivo de arroz aeróbico e inundado na China, encontraram valores de EUR de 1,27 a 1,05 g MS MJ m² dia⁻¹ (biomassa total acima do solo, considerando parte aérea mais grãos) para arroz irrigado pelo sistema inundado e aeróbico, respectivamente.

Já os estudos de Katsura et al. (2010), não responderam da mesma forma, onde os maiores valores de EUR foram encontrados no sistema aeróbico (1,1–1,7 g MS MJ m² dia⁻¹) quando comparado ao cultivo irrigado por inundação (1,05–1,6 g MS MJ m² dia⁻¹). Mesmo com respostas distintas entre os trabalhos, os valores de EUR entre os sistemas não possuem grande variação, o que demonstra a semelhança entre os dois sistemas de cultivo.

Os mesmos autores relatam que a inconsistência na EUR entre os diferentes estudos podem ser atribuídos as diferentes condições meteorológicas, cultivares e a dinâmica da umidade do solo. A menor EUR foi encontrada em solos arenosos e as maiores em argilosos, devido a menor variação de umidade no solo. Comparando os trabalhos, Katsura et al. (2010), verificou que a redução drástica na umidade do solo causaria a redução na EUR em cultura aeróbica. Isto demonstra como a EUR é modificada de acordo com o comportamento fisiológico da planta a condição hídrica em que ela se encontra. Yan (2011) explica que uma planta de arroz sob estresse hídrico reduz a taxa de respiração, o acúmulo de fotoassimilados e acelera a decomposição da clorofila, promovendo senescência precoce das folhas. Esse comportamento promove redução na taxa de expansão foliar, área foliar e na produção de biomassa, além de levar ao abortamento de perfilhos. Todos estes fatores combinados resultam em menor interceptação da radiação solar, menor produtividade e consequentemente menor EUR.

Os dados apresentados pelos autores citados acima, corroboram os resultados obtidos neste trabalho, pois a medida que ocorre a redução drástica no volume de água aplicada nos

tratamentos (próximo ao estresse hídrico) ocorre a redução da EUR e conseqüentemente a do potencial de cultivo da cultura.

Portanto, a retirada da lâmina de água sobre a superfície do solo altera a EUR. No entanto, com bom suprimento hídrico e condições ambientais ideais, é possível obter elevados valores de EUR, chegando próximo do cultivo no sistema inundado, indicando que a irrigação por aspersão é alternativa para redução do uso da água no cultivo de arroz. Porém, pesquisas com diferentes lâminas de irrigação, tanto no período vegetativo quanto no reprodutivo, devem ser realizadas para sanar algumas dúvidas levantadas nesse trabalho.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A retirada da lâmina de água sobre a superfície do solo altera a EUR para produtividade de grãos e biomassa de parte aérea.

Os maiores valores de EUR para produtividade de grãos foram obtidos a partir da lâmina de 150% da ETc, porém estes variam de acordo com a cultivar, sendo a lâmina de 200% da ETc a mais indicada para a maioria das cultivares testadas.

Para EUR da biomassa de parte aérea, os maiores valores foram obtidos com as lâminas de 200 e 250% da ETc, tendo tendência linear a aumentar conforme o aumento do volume de água aplicado.

As cultivares de arroz de terras baixas testadas adaptam-se ao sistema de irrigação por aspersão, e as lâminas de 150, 200 e 250% da ETc alcançam valores de EUR próximos ao sistema de cultivo de irrigação por inundação.

5 REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, P. E. P.; DURÃES, F. O. M. **Uso e manejo da irrigação**. Brasília, EMBRAPA, 2008. 528p.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome, FAO, 1998. 300p.
- ARF, O.; RODRIGUES, R. A. F.; SÁ, M. E.; CRUSCIOL, C. A. C. Resposta de cultivares de arroz de sequeiro ao preparo do solo e à irrigação por aspersão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, p. 871-879, 2001.
- BARTZ, A. C.; MUTTONI, M.; ALBERTO, C. M.; STRECK, N. A.; MACHADO, G. A.; GIACOMELI, R.; HELGUEIRA, D. B.; MOURA, D. S. Thermal time in sprinkler-irrigated lowland rice. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 52, p. 475-484, 2017.
- BOSCO, L. C.; GRIMM, E. L.; STRECK, N. A. Crescimento e desenvolvimento de genótipos de arroz cultivados em solo alagado e não-alagado. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 56, p. 796-804, 2009.
- BOUMAN, B. A. M. A conceptual framework for the improvement of crop water productivity at different spatial scales. **Agricultural Systems**, Philippines, v. 93, p. 43-60. 2007.
- COUNCE, P.; KEISLING, T. C.; MITCHELL, A. J. A uniform objective and adaptive system for expressing rice development. **Crop Science**, Madison, v. 40, p. 436-443, 2000.
- CRUSCIOL, C. A. C. Crescimento radicular, nutrição e produção de cultivares de arroz de terras altas em função de disponibilidade hídrica e de fósforo. 2001. **Dissertação** (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrônômicas. Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.
- DAUGHTRY, C. S. T.; GALLO, K. P.; GOWARD, S. N.; PRICE, S. D.; KUSTAS, W. P. Spectral estimates of absorbed radiation and phytomass production in corn and soybean canopies. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 39, p. 141-152, 1992.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2ed. Rio de Janeiro, 2013. 306p.
- FAO - Food and Agriculture Organization. **Seguimiento del Mercado del Arroz**. Rome, ed19, 2016. 10p.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v.38, p. 109-112, 2014.
- HEINEMANN, A. B.; STONE, L. F.; DIDONET, A.D.; TRINDADE, M. G.; SOARES, B. B.; MOREIRA, J. A. A.; CÁNOVAS, A. Eficiência de uso da radiação solar na produtividade do trigo decorrente da adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, p. 352-356, 2006.

LI, T.; HASEGAWA, T.; YIN, X.; ZHU, Y., BOOTE, K.; ADAM, M.; BREGAGLIO, S.; BUIS, S.; CONFALONIERI, R.; FUMOTO, T.; GAYDON, D.; MARCAIDA, M.; NAKAGAWA, H.; ORIOL, P.; RUANE, A. C.; RUGET, F.; SINGH, B.; SINGH, U.; TANG, L.; TAO, F.; WILKENS, P.; YOSHIDA, H.; ZHANG, Z; BOUMAN, B. Uncertainties in predicting rice yield by current crop models under a wide range of climatic conditions. **Global Changes Biology**, Philippines, v. 21, p. 1328-1341. 2015.

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, p. 22-23, 1994.

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration. Historical **El Nino / La Nina episodes**. Disponível em: http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php. Acesso em 21 out. 2018.

PINTO, M. A. B.; PARFITT, S. M. B.; TIMM, L. C.; FARIA, L. C.; SCIVITTARO, W.B. Produtividade de arroz irrigado por aspersão em terras baixas em função da disponibilidade de água e de atributos do solo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 51, p. 1584-1593, 2016.

SHIBLES, R. M.; WEBER, C. R. Interception of solar radiation and dry matter production by various soybean planting patterns. **Crop Science**, Madison, v. 6, p. 55-59, 1965.

SBCS - Sociedade brasileira de ciência do solo. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10ed. Porto Alegre, Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC, 2004. 400p.

SOSBAI - Sociedade sul-brasileira de arroz irrigado. **Recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Bento Gonçalves, SOSBAI, 2014. 189p.

STANSEL, J. W. **Effective utilization of sunlight**. Beaumont, Texas Agricultural Experiment Station, 1975. 89p.

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, p. 429-438, 2001.

TAIZ, L.; ZIEGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3ed. Porto Alegre, Artemed, 2004. 719p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4ed. Artmed, Porto Alegre, 2009. 848p.

VARLET, G. C.; BONHOMME, R.; SINOQUET, H. **Crop Structure and light microclimate-characterization and applications**. 2ed, Paris, Price, 1993. 518p.

VORIES, E.; STEVENS, W.; RHINEB, M.; STRATMANN, Z. Investigating irrigation scheduling for rice using variable rate irrigation. **Agricultural Water Management**, Portageville, v. 179, p. 314-323, 2017.

XUE, Q. W.; ZHU, Z. X.; MUSICK, J. T.; STEWART, B. A.; DUSEK, D. A. Physiological mechanisms contributing to the increased water-use efficiency in winter wheat under deficit irrigation. **Journal of Plant Physiology**, Shaanxi, v. 163, p. 154–164. 2006.

WREGE, M. S.; STEINMETZ, S.; REISSER JÚNIOR, C.; DE ALMEIDA, I. R. **Atlas climático da Região Sul do Brasil**. Brasília, EMBRAPA, 2011. 336 p.

YAN, C.; CHEN, H.; FAN, T.; HUANG, Y.; YU, S.; CHEN, S.; HONG, X. Rice flag leaf physiology, organ and canopy temperature in response to water stress. **Plant Production Science**, Hangzhou, v. 15, p. 92-99, 2012.

YANG, J.; ZHANG, J. Crop management techniques to enhance harvest index in rice. **Journal of Experimental Botany**, Jiangsu, v. 61, p. 3177–3189, 2010.

YOSHIDA, S.; PARAO, F. T. Climatic influence on yield and yield components of lowland rice in the tropics. **Climate and Rice**, Los Baños, v. 3, p. 471-494. 1976.

KATSURAA, K.; OKAMI, M.; MIZUNUMAA, H.; KATO, Y. Radiation use efficiency, N accumulation and biomass production of high-yielding rice in aerobic culture. **Field Crops Research**, Osaka, v. 117, p. 81-89, 2010.