

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

**SOMA TÉRMICA EM ARROZ DE TERRAS BAIXAS
IRRIGADO POR ASPERSÃO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Alex Cristiano Bartz

**Itaqui, RS, Brasil
2016**

ALEX CRISTIANO BARTZ

**SOMA TÉRMICA 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
2016

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos pelo autor através do Módulo de Biblioteca do Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais).

B294s Bartz, Alex Cristiano
Soma térmica em arroz de terras baixas irrigado por aspersão / Alex Cristiano Bartz.
29 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)-- Universidade Federal do Pampa, AGRONOMIA, 2016.
"Orientação: Cleber Maus Alberto".

1. *Oryza sativa*. 2. Fenologia. 3. Disponibilidade hídrica. 4. Graus-dia. I. Título.

ALEX CRISTIANO BARTZ

**SOMA TÉRMICA 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: 24 de junho de 2016.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Cleber Maus Alberto
Orientador
Curso de Agronomia - UNIPAMPA

Prof. Dr. Guilherme Ribeiro
Curso de Agronomia - UNIPAMPA

Prof. Dr. Marcos Toebe
Curso de Agronomia - UNIPAMPA

AGRADECIMENTO

Ao Prof. Dr. Cleber Maus Alberto pela orientação e pelo apoio durante a execução deste trabalho. Também agradeço a todos os integrantes do Grupo de Estudos em Água e Solos – GEAS, os quais me auxiliaram na condução e coleta dos dados dos experimentos que resultaram neste trabalho.

RESUMO

SOMA TÉRMICA EM ARROZ DE TERRAS BAIXAS IRRIGADO POR ASPERSÃO

Autor: Alex Cristiano Bartz

Orientador: Cleber Maus Alberto

Local e data: Itaqui, 24 de junho de 2016.

O objetivo do trabalho foi avaliar métodos de cálculo de soma térmica e a duração das fases de desenvolvimento de arroz de terras baixas irrigado por aspersão. O experimento foi realizado durante três anos agrícolas (2010/2011, 2011/2012 e 2014/2015), sendo os tratamentos cinco lâminas de irrigação (0%, 50%, 100% 150% e 200% da evapotranspiração da cultura) no primeiro e no terceiro ano de experimento e quatro no segundo ano (0%, 50%, 100% e 150% da evapotranspiração da cultura), três cultivares de arroz de terras baixas (IRGA 417, IRGA 424 e INOV CL – 2010/2011 e 2011/2012; IRGA 428, IRGA 429 e XP 102 CL – 2014/2015), com quatro repetições. Foram testados seis métodos de cálculo de soma térmica, dois utilizam a temperatura basal inferior, dois a temperatura basal inferior e a ótima e dois a temperatura basal inferior, ótima e superior. Para o cálculo da soma térmica o ciclo de desenvolvimento da cultura foi dividido nas fases vegetativa, reprodutiva e de enchimento de grãos. Os métodos que utilizam as três temperaturas cardinais apresentaram os menores valores de coeficiente de variação na maioria das fases de desenvolvimento. As lâminas de irrigação influenciaram na soma térmica e as cultivares de arroz responderam de forma distinta em cada fase de desenvolvimento. Quanto maior a disponibilidade hídrica menor a duração do ciclo de desenvolvimento, sendo os valores de soma térmica dependentes do método de cálculo.

Palavras-chave: *Oryza sativa*, fenologia, disponibilidade hídrica, graus-dia.

ABSTRACT

THERMAL TIME IN LOWLAND RICE IRRIGATED BY SPRINKLING

Author: Alex Cristiano Bartz

Advisor: Cleber Maus Alberto

Place and date: Itaqui, June 24, 2016.

The objective of this study was to evaluate thermal time methods and duration of developmental stages of lowland rice irrigated by sprinkling. The experiment was conducted during three growing seasons (2010/2011, 2011/2012 and 2014/2015), and treatments were five irrigation levels (0%, 50%, 100% 150% e 200% of crop evapotranspiration) in the first and third year of experiment and four in the second year (0%, 50%, 100% e 150% of crop evapotranspiration), three lowland rice cultivars (IRGA 417, IRGA 424 e INOV CL – 2010/2011 e 2011/2012; IRGA 428, IRGA 429 e XP 102 CL – 2014/2015), with four replications. Six thermal time methods were tested, two using lower basal temperature, two using the lower basal temperature and the optimum, and two using the lower basal, optimum and higher temperature. To calculate the thermal time the crop development cycle was divided into vegetative, reproductive and grain filling phases. The methods that use three cardinal temperatures had lower coefficient of variation in most developmental phases. Irrigation levels influenced the thermal time and rice cultivars responded differently in each development phase. The higher water availability the lower duration of development cycle, and thermal time is dependent upon the calculation method.

Keywords: *Oryza sativa*, phenology, water availability, degree days.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Temperatura do ar (°C) (a) e umidade relativa do ar (%) (b) nas fases de desenvolvimento vegetativa (EM-R1), reprodutiva (R1-R4), enchimento de grãos (R4-R9) e ciclo completo (EM-R9) de arroz de terras baixas, nos anos agrícolas 2010/2011, 2011/2012 e 2014/2015 em Itaqui – RS. No detalhe, as barras representam o desvio padrão dos valores de temperatura e umidade relativa do ar. Fonte: do autor.....19

Figura 2. Precipitação pluviométrica (mm) e irrigação (mm) para a lâmina de 100% da evapotranspiração da cultura, durante o ciclo de desenvolvimento de arroz de terras baixas irrigado por aspersão, nos anos agrícolas 2010/2011 (a), 2011/2012 (b) e 2014/2015 (c). No detalhe, a linha tracejada corresponde a média de ocorrência da diferenciação da panícula (R1), antese (R4) e maturidade fisiológica (R9) das cultivares de arroz de terras baixas sob a lâmina de 100% da evapotranspiração da cultura. Fonte: do autor.....20

Figura 3. Soma térmica acumulada (STa, °C dia) nas fases de desenvolvimento vegetativo (EM-R1), reprodutivo (R1-R4) e enchimento de grãos (R4-R9) de arroz de terras baixas irrigado por lâminas de aspersão (0%, 50%, 100%, 150% e 200% da evapotranspiração da cultura), calculado por seis métodos de soma térmica (A= 1.1; B= 1.2; C= 2.1; D= 2.2; E= 3.1 e F= 3.2), com dados de três anos agrícolas (1= 2010/11; 2= 2011/12 e 3= 2014/15). Letras minúsculas comparam valores de cada método em cada fase de desenvolvimento, para as lâminas de irrigação do ano agrícola 2014/2015, sendo que letras iguais não diferem pelo teste de Tukey ($p>0,05$). Fonte: do autor.....22

Figura 4. Soma térmica acumulada (STa, °C dia) nas fases de desenvolvimento vegetativo (EM-R1), reprodutivo (R1-R4) e enchimento de grãos (R4-R9) de cultivares de arroz de terras baixas [cultivares de ciclo médio (CCM): IRGA 428 e IRGA 417; cultivares de ciclo semi-tardio (CCST): IRGA 429 e IRGA 424; cultivares híbridas (HIB): XP 102 CL e INOV CL] irrigado por aspersão, calculada por seis métodos de soma térmica (A= 1.1; B= 1.2; C= 2.1; D= 2.2; E= 3.1 e F= 3.2), com dados de três anos agrícolas (1= 2010/2011; 2= 2011/2012 e 3= 2014/2015). Letras minúsculas comparam valores de cada método em cada fase de desenvolvimento, entre as cultivares do ano agrícola 2014/2015, sendo que letras iguais não diferem pelo teste de Tukey ($p>0,05$). Fonte: do autor.....24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Temperaturas cardinais (°C) [inferior (T_b), ótima (T_{ot}) e superior (T_B)] para as fases de desenvolvimento (EM-R1, R1-R4 e R4-R9) de cultivares de arroz de terras baixas.....18

Tabela 2. Coeficiente de variação (CV%) da média dos valores de soma térmica acumulada (STa, °C dia) em cada fase de desenvolvimento (vegetativo – EM-R1; reprodutivo – R1-R4; enchimento de grãos – R4-R9; ciclo completo – EM-R9) de cultivares de arroz de terras baixas irrigado por lâminas de aspersão (0%, 50%, 100% e 150% da evapotranspiração da cultura – ETc). Valores obtidos por seis métodos de cálculo de soma térmica (1.1, 1.2, 2.1, 2.2, 3.1 e 3.2).....21

ABREVIATURAS

CCM – Cultivares de ciclo médio
CCST – Cultivares de ciclo semi-tardio
ETc – Evapotranspiração da cultura
ETo – Evapotranspiração de referência
HIB – Cultivares híbridas
Kc – Coeficiente de cultura
STa – Soma térmica acumulada (°C dia)
STd – Soma térmica diária (°C dia)
T_b – Temperatura basal inferior (°C)
T_B – Temperatura basal superior (°C)
T_{máx} – Temperatura máxima do ar (°C)
T_{méd} – Temperatura média do ar (°C)
T_{mín} – Temperatura mínima do ar (°C)
T_{ot} – Temperatura ótima (°C)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	16
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
4 CONCLUSÕES	26
REFERÊNCIAS	27

1 INTRODUÇÃO

O cultivo de arroz na Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul utiliza predominantemente o sistema de irrigação por inundação. Neste sistema, a demanda hídrica é elevada, pois a manutenção de uma lâmina permanente de água sobre a superfície do solo requer sua saturação e reposição das perdas de água, as quais ocorrem na lavoura e canais de irrigação por fluxo lateral, percolação, além da evapotranspiração da cultura (SOSBAI, 2014). Uma alternativa a este sistema é a irrigação por aspersão, em que o fornecimento de água é realizado visando suprir a evapotranspiração da cultura, diminuindo as demais perdas. Alguns produtores da Fronteira-Oeste do Rio Grande do Sul tem optado por cultivar o arroz no sistema de irrigação por aspersão, visando reduzir o consumo de água na cultura do arroz e facilitar a rotação de culturas.

A água é responsável por regular diversos mecanismos nas plantas, destacando-se como fonte de elétrons na produção de energia, regulação da turgescência celular, transporte de solutos, regulação da abertura e fechamento estomático e da temperatura da planta (Marengo & Lopes, 2009). Assim, o cultivo de arroz de terras baixas irrigado por aspersão pode alterar processos básicos de crescimento e desenvolvimento já conhecidos do cultivo sob inundação. Bosco et al. (2009), em estudo com arroz em ambiente alagado e não alagado, indicam que o crescimento e desenvolvimento são afetados devido a uma interação nos efeitos de fatores genéticos e ambientais. Assim, o efeito do sistema de irrigação sobre processos básicos de crescimento e desenvolvimento de cultivares de arroz que tradicionalmente são cultivadas em solo alagado merece ser investigado.

A temperatura (Streck et al., 2008; Trentin et al., 2008) e a água (Taiz & Zeiger, 2009) são os dois fatores abióticos que mais influenciam no crescimento e desenvolvimento das plantas. O efeito da temperatura nos processos de crescimento e desenvolvimento das plantas tem sido representado pela soma térmica, sendo a unidade em °C dia (Gilmore Junior & Rogers, 1958). Este método baseia-se no fato de que as plantas necessitam de um somatório térmico para completarem cada fase do seu ciclo de desenvolvimento.

Existem vários métodos de cálculo para a soma térmica, sendo que o mais simples é o que calcula o acúmulo térmico acima de um valor crítico inferior, chamada temperatura basal inferior (Gilmore Junior & Rogers, 1958). Porém, sob o ponto de vista biológico, a resposta do desenvolvimento à temperatura é mais bem expressa quando utilizada as três temperaturas cardinais, ou seja, temperatura basal inferior, ótima e basal superior (Streck, 2002).

A determinação da duração das fases do desenvolvimento das culturas é importante para realização de manejos culturais, como escolha da época de semeadura, aplicação de fertilizantes e demais produtos químicos (Freitas et al., 2006), calibração de modelos de simulação do crescimento e desenvolvimento das plantas (Rosa et al., 2015), bem como para o manejo de irrigação.

Diante do exposto, objetivou-se avaliar métodos de cálculo de soma térmica e a duração das fases de desenvolvimento de arroz de terras baixas irrigado por aspersão.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi conduzido na área experimental da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), (Latitude 29°09'21.68" S; Longitude 56°33'02.58" W; altitude de 74 metros), no município de Itaqui 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 (Wrege et al., 2011). O solo do local é classificado como Plintossolo Háplico (Embrapa, 2013).

Foram realizados três experimentos nos anos agrícolas 2010/2011, 2011/2012 e 2014/2015. O delineamento experimental utilizado foi blocos casualizados com parcelas subdivididas, sendo os tratamentos das subparcelas três cultivares de arroz de terras baixas (IRGA 417, IRGA 424 e INOV CL – 2010/2011 e 2011/2012; IRGA 428, IRGA 429 e XP 102 CL – 2014/2015), e das parcelas, quatro lâminas de irrigação por aspersão no ano agrícola 2011/2012 (0%, 50%, 100% e 150% da evapotranspiração da cultura) e cinco lâminas de irrigação por aspersão nos anos 2010/2011 e 2014/2015 (0%, 50%, 100%, 150% e 200% da evapotranspiração da cultura), com quatro repetições. As semeaduras foram realizadas nos dias 09 de novembro de 2010, 22 de outubro de 2011 e 17 de novembro de 2014, todas dentro da época recomendada para a cultura do arroz.

Cada subparcela foi composta de dezoito linhas espaçadas em 0,17 m e cinco metros de comprimento, totalizando área de 15,3 m². A densidade de semeadura foi de 100 kg ha⁻¹ (ou 350 plantas m⁻²) para as cultivares IRGA 417, IRGA 424, IRGA 428 e IRGA 429 e de 50 kg ha⁻¹ (ou 175 plantas m⁻²) para as cultivares INOV CL e XP 102 CL que são híbridos, o que explica a menor densidade de semeadura.

A necessidade de irrigação foi determinada a partir da evapotranspiração da cultura (ETc), multiplicando-se 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 do ar, umidade do ar, vento e radiação solar obtidos na estação

meteorológica automática situada a 200 m do local de cultivo. Os valores de coeficiente de cultura (K_c), 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 de 95 DAE (Allen et al., 1998).

A adubação foi realizada de acordo com a recomendação para a cultura de arroz segundo a CQFS – RS/SC (2004) com estimativa de produtividade de grãos de 12 t ha^{-1} . O controle de plantas daninhas, insetos, doenças e demais manejos da cultura foi realizado sempre que necessário de acordo com as recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil para a cultura do arroz (SOSBAI, 2007), visando manter as plantas sem estresse por esses fatores.

A fenologia foi determinada conforme a escala de Counce et al. (2000). A emergência foi considerada quando 50% das plantas estavam visíveis acima do nível do solo e diariamente foram determinados os seguintes estágios de desenvolvimento: diferenciação da panícula (R1), antese (R4) e maturidade fisiológica (R9). Nos anos agrícolas 2010/2011 e 2011/2012 realizou-se a identificação dos estágios de desenvolvimento em 10 plantas por parcela escolhidas aleatoriamente. A data de ocorrência do estágio foi considerada quando 50% das plantas se encontravam no respectivo estágio. Na safra 2014/2015 foram identificadas quatro plantas por subparcela logo após a emergência onde foram determinadas as datas de ocorrência dos estágios de desenvolvimento.

A soma térmica diária (STd, °C dia) foi determinada por seis métodos lineares (Gilmore Junior & Rogers, 1958; Streck et al., 2007a,b; Rosa et al., 2009). Foram utilizados métodos de apenas uma temperatura cardinal (1.1 e 1.2), duas temperaturas cardinais (2.1 e 2.2) e três temperaturas cardinais (3.1 e 3.2), conforme descritos a seguir:

$$\text{Método 1.1: } STd = (T_{\text{méd}} - T_b) * 1 \text{ dia, se } T_{\text{méd}} < T_b, \text{ então } T_{\text{méd}} = T_b; \quad (1)$$

$$\text{Método 1.2: } STd = (T_{\text{méd}} - T_b) * 1 \text{ dia, se } T_{\text{mín}} \leq T_b, \text{ então } T_{\text{mín}} = T_b; \quad (2)$$

$$\text{Método 2.1: } STd = (T_{\text{méd}} - T_b) * 1 \text{ dia, se } T_{\text{méd}} < T_b, \text{ então } T_{\text{méd}} = T_b \text{ e, se } T_{\text{méd}} > T_{\text{ot}}, \text{ então } T_{\text{méd}} = T_{\text{ot}}; \quad (3)$$

$$\text{Método 2.2: } STd = (T_{\text{méd}} - T_b) * 1 \text{ dia, se } T_{\text{mín}} < T_b, \text{ então } T_{\text{mín}} = T_b \text{ e, se } T_{\text{máx}} > T_{\text{ot}}, \text{ então } T_{\text{máx}} = T_{\text{ot}}; \quad (4)$$

$$\text{Método 3.1: } STd = (T_{\text{méd}} - T_b) * 1 \text{ dia, quando } T_b < T_{\text{méd}} \leq T_{\text{ot}}; STd = \{(T_{\text{ot}} - T_b) * [(T_B - T_{\text{méd}}) / (T_B - T_{\text{ot}})]\} * 1 \text{ dia, quando } T_{\text{ot}} < T_{\text{méd}} \leq T_B; \text{ se } T_{\text{méd}} < T_b, \text{ então } T_{\text{méd}} = T_b \text{ e, se } T_{\text{méd}} > T_B, \text{ então } T_{\text{méd}} = T_B; \quad (5)$$

$$\text{Método 3.2: } STd = (T_{\text{méd}} - T_b) * 1 \text{ dia, quando } T_b < T_{\text{méd}} \leq T_{\text{ot}}; STd = \{(T_{\text{ot}} - T_b) * [(T_B - T_{\text{méd}}) / (T_B - T_{\text{ot}})]\} * 1 \text{ dia, quando } T_{\text{ot}} < T_{\text{méd}} \leq T_B; \text{ se } T_{\text{mín}} < T_b, \text{ então } T_{\text{mín}} = T_b \text{ e, se } T_{\text{máx}} > T_B, \text{ então } T_{\text{máx}} = T_B; \quad (6)$$

Em que STd é a soma térmica diária ($^{\circ}C$ dia); $T_{méd}$ é a temperatura média diária do ar ($^{\circ}C$), sendo calculada pela média aritmética das temperaturas máxima ($T_{máx}$) e mínima ($T_{mín}$) diária; T_b , T_{ot} e T_B são as temperaturas cardinais do desenvolvimento das plantas (temperatura basal inferior, temperatura ótima e temperatura basal superior em $^{\circ}C$, respectivamente). Para calcular o acúmulo térmico em cada fase de desenvolvimento realizou-se o somatório da STd , obtendo-se a soma térmica acumulada (STa).

O desenvolvimento da cultura foi dividido em três fases (vegetativa, reprodutiva e enchimento de grãos), sendo as temperaturas cardinais de cada fase (Tabela 1) definidas de acordo com a literatura.

Tabela 1. Temperaturas cardinais ($^{\circ}C$) [inferior (T_b), ótima (T_{ot}) e superior (T_B)] para as fases de desenvolvimento (EM-R1, R1-R4 e R4-R9) de cultivares de arroz de terras baixas.

GENÓTIPO	FASE DE DESENVOLVIMENTO ⁽¹⁾	TEMP. CARDINAL ($^{\circ}C$)		
		T_b	T_{ot}	T_B
INOV CL e XP 102 CL	Vegetativa (EM-R1)	8,0 ⁽²⁾	28 ⁽³⁾	40 ⁽⁵⁾
IRGA 417, IRGA 424, IRGA 428 e IRGA 429		9,3 ⁽²⁾	28 ⁽³⁾	40 ⁽⁵⁾
INOV CL, XP 102 CL, IRGA 417, IRGA 424, IRGA 428 e IRGA 429	Reprodutiva (R1-R4)	15 ^{(3), (4)}	25 ⁽⁶⁾	35 ^{(6), (7)}
	Enchimento de grãos (R4-R9)	15 ^{(3), (4)}	23 ⁽⁷⁾	35 ^{(6), (7)}

⁽¹⁾ EM = emergência; R1 = diferenciação da panícula; R4 = antese; R9 = maturidade fisiológica. ⁽²⁾ Lago et al. (2009). ⁽³⁾ Steinmetz (2004). ⁽⁴⁾ Buriol et al. (1991). ⁽⁵⁾ Gao et al. (1992). ⁽⁶⁾ Pedro Júnior et al. (1995). ⁽⁷⁾ Venkataraman et al. (2007). Fonte: do autor.

Para a realização das análises, as cultivares foram agrupadas de acordo com suas características de ciclo de desenvolvimento, com uma classificação proposta pela EMBRAPA (2016). Assim, foram definidas como cultivares de ciclo médio (CCM) IRGA 417 e IRGA 428 e cultivares de ciclo semi-tardio (CCST) IRGA 424 e IRGA 429. As demais cultivares (INOV CL e XP 102 CL) possuem ciclo médio, porém foram agrupados como híbridos (HIB), por serem provenientes de hibridação.

A eficiência dos métodos de soma térmica foi avaliada pelo coeficiente de variação (CV%), considerando a média dos valores de soma térmica de cada fase de desenvolvimento em cada ano agrícola (2010/2011, 2011/2012 e 2014/2015). Como as datas de ocorrência dos estágios de desenvolvimento nos anos agrícolas 2010/2011 e 2011/2012 foram consideradas quando a média de todas as repetições de cada tratamento se encontrava no respectivo estágio, foi realizada análise estatística somente para o ano agrícola 2014/2015, sendo que os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e quando constatada significância os

tratamentos foram submetidos ao teste de Tukey a 5% de probabilidade, com auxílio do software SISVAR (Ferreira, 2011).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As condições meteorológicas durante os três anos agrícolas foram distintas (Figuras 1 e 2). No ano agrícola 2010/2011, ocorreram precipitações frequentes e elevadas durante todo o ciclo de desenvolvimento da cultura, sendo o volume precipitado (1502,8 mm) o dobro do volume esperado para o período no município de Itaqui – RS (725,7 mm), o que ocorreu por influência do fenômeno El Niño (NOAA, 2016). No ano agrícola 2011/2012 ocorreram baixos volumes de precipitação pluviométrica (340,0 mm), com valores atingindo menos da metade do esperado no período segundo a normal climatológica do local (Wrege et al., 2011). Também foram registradas temperaturas acima (26,0 °C) e UR% abaixo (63,1%) da normal climatológica (24,9 °C e 75,0%, respectivamente), o que se explica pela influência do fenômeno La Niña no período (NOAA, 2016). O ano agrícola 2014/2015 teve condições intermediárias, sendo que na fase vegetativa da cultura a precipitação pluviométrica foi 300 mm acima e, na fase reprodutiva a precipitação pluviométrica foi 120 mm abaixo da média climatológica (Wrege et al., 2011).

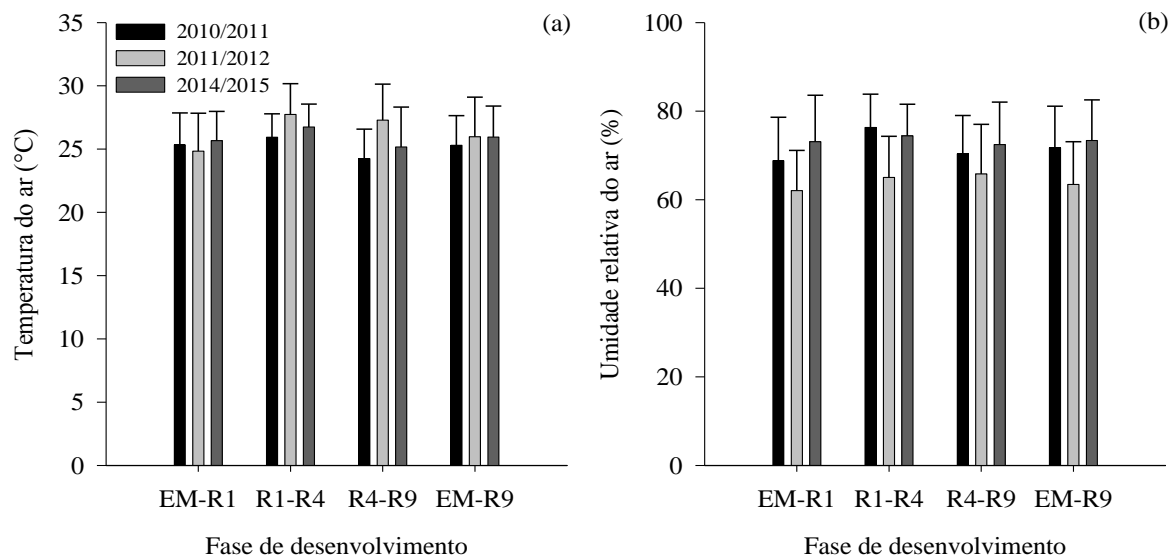


Figura 1. Temperatura do ar (°C) (a) e umidade relativa do ar (%) (b) nas fases de desenvolvimento vegetativa (EM-R1), reprodutiva (R1-R4), enchimento de grãos (R4-R9) e ciclo completo (EM-R9) de arroz de terras baixas, nos anos agrícolas 2010/2011, 2011/2012 e 2014/2015 em Itaqui – RS. No detalhe, as barras representam o desvio padrão dos valores de temperatura e umidade relativa do ar. Fonte: do autor.

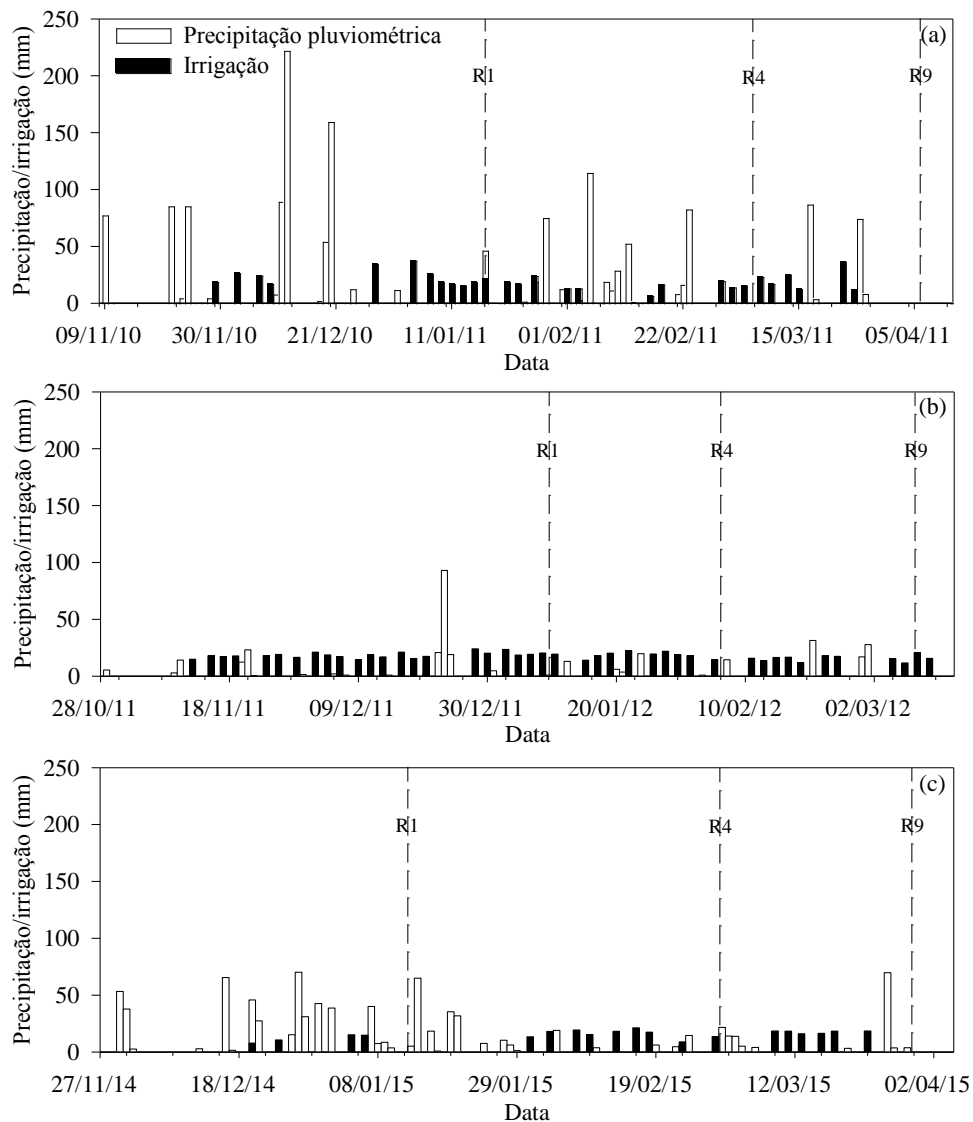


Figura 2. Precipitação pluviométrica (mm) e irrigação (mm) para a lâmina de 100% da evapotranspiração da cultura, durante o ciclo de desenvolvimento de arroz de terras baixas irrigado por aspersão, nos anos agrícolas 2010/2011 (a), 2011/2012 (b) e 2014/2015 (c). No detalhe, a linha tracejada corresponde a média de ocorrência da diferenciação da panícula (R1), antese (R4) e maturidade fisiológica (R9) das cultivares de arroz de terras baixas sob a lâmina de 100% da evapotranspiração da cultura. Fonte: do autor.

O cálculo do CV% dos valores de soma térmica (Tabela 2) foi realizado somente quando havia dados de todos os anos de experimento para as lâminas ou cultivares. O CV% diminuiu de acordo com o aumento da disponibilidade hídrica e com a utilização de três temperaturas cardinais no cálculo da soma térmica. Estes resultados estão de acordo com Rosa et al. (2009), que em trabalho com cultivares de trigo, relatam que o desvio padrão dos valores obtidos por métodos que utilizam as três temperaturas cardinais é menor em relação

aos demais, pois o resultado do cálculo é o mais próximo da interação do desenvolvimento das plantas com os fatores abióticos.

Tabela 2. Coeficiente de variação (CV%) da média dos valores de soma térmica acumulada (STa, °C dia) em cada fase de desenvolvimento (vegetativo – EM-R1; reprodutivo – R1-R4; enchimento de grãos – R4-R9; ciclo completo – EM-R9) de cultivares de arroz de terras baixas irrigado por lâminas de aspersão (0%, 50%, 100% e 150% da evapotranspiração da cultura – ETc). Valores obtidos por seis métodos de cálculo de soma térmica (1.1, 1.2, 2.1, 2.2, 3.1 e 3.2).

LÂMINAS/ CULTIVARES	MÉTODOS					
	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2
EM-R1						
0%	34,4	34,4	33,3	31,3	31,4	31,5
50%	29,3	29,3	28,5	26,6	27,2	27,3
100%	19,7	19,7	19,4	17,9	18,8	18,8
150%	14,5	14,5	14,6	13,9	14,9	14,9
R1-R4						
50%	88,9	88,9	87,1	87,1	87,3	86,6
100%	42,8	42,8	45,0	47,7	48,4	45,3
150%	27,0	27,0	28,8	31,4	31,6	28,6
R4-R9						
100%	42,0	41,5	26,3	35,0	2,7	9,4
150%	32,7	32,4	18,7	25,8	5,0	5,8
EM-R9						
100%	8,3	8,2	7,4	6,9	9,1	9,0
150%	3,4	3,4	5,0	4,8	8,9	7,8
EM-R1						
CCM ⁽¹⁾	24,5	24,5	23,9	22,1	22,8	22,8
CCST ⁽²⁾	22,6	22,6	21,8	20,1	20,7	20,7
HIB ⁽³⁾	24,5	24,5	23,8	22,2	22,8	22,8
R1-R4						
CCM	11,9	11,9	16,8	17,8	25,0	20,2
CCST	11,9	12,1	17,4	18,7	26,0	21,5
HIB	20,9	21,0	26,0	26,8	33,9	29,8
R4-R9						
CCM	37,4	36,5	22,6	28,2	7,5	11,1
CCST	32,5	32,0	15,9	25,2	9,1	4,0
HIB	44,9	44,4	32,0	39,1	11,2	18,0
EM-R9						
CCM	16,7	16,6	13,2	12,8	10,9	12,2
CCST	14,8	14,7	11,3	11,5	9,9	10,6
HIB	15,4	15,3	13,2	12,7	12,5	13,3

⁽¹⁾ CCM: cultivares de ciclo médio (IRGA 417 e IRGA 428). ⁽²⁾ CCST: cultivares de ciclo semi-tardio (IRGA 424 e IRGA 429). ⁽³⁾ HIB= cultivares híbridadas (INOV CL e XP 102 CL). Fonte: do autor.

Considerando os três anos agrícolas, verificou-se uma tendência de redução do ciclo de desenvolvimento conforme há um incremento na disponibilidade hídrica (Figura 3), porém com valores variando de forma considerável entre os anos. Pelo método 1.1, a soma térmica do ciclo completo (EM-R9) das plantas sob a lâmina de 100% da ETc variou de 1696,2 °C dia à 2000,8 °C dia. Além disso, somente cultivares de arroz de terras baixas com lâminas de irrigação acima de 100% da ETc completaram o ciclo de desenvolvimento nos três anos agrícolas.

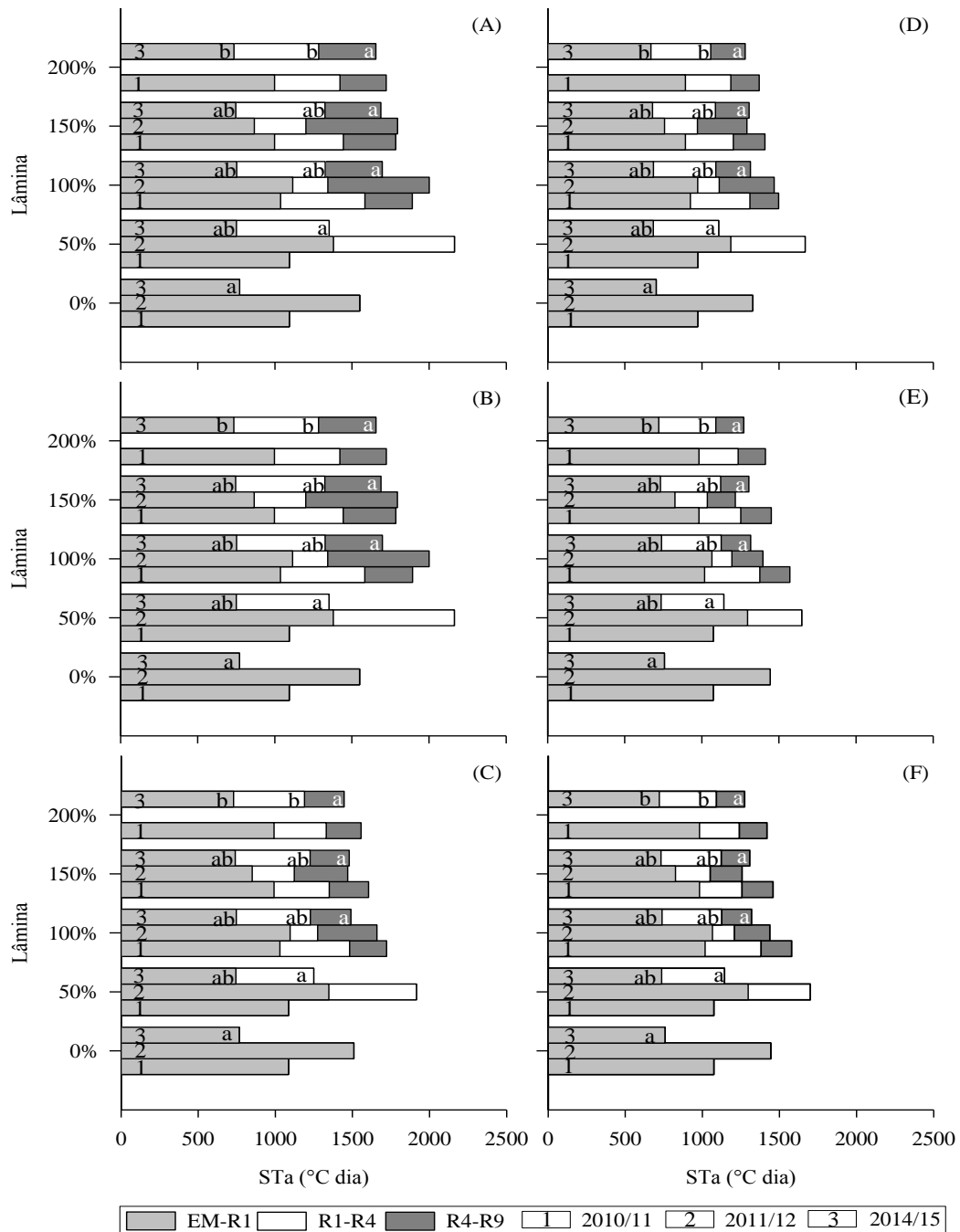


Figura 3. Soma térmica acumulada (STa, °C dia) nas fases de desenvolvimento vegetativo (EM-R1), reprodutivo (R1-R4) e enchimento de grãos (R4-R9) de arroz de terras baixas

irrigado por lâminas de aspersão (0%, 50%, 100%, 150% e 200% da evapotranspiração da cultura), calculado por seis métodos de soma térmica (A= 1.1; B= 1.2; C= 2.1; D= 2.2; E= 3.1 e F= 3.2), com dados de três anos agrícolas (1= 2010/11; 2= 2011/12 e 3= 2014/15). Letras minúsculas comparam valores de cada método em cada fase de desenvolvimento, para as lâminas de irrigação do ano agrícola 2014/2015, sendo que letras iguais não diferem pelo teste de Tukey ($p>0,05$). Fonte: do autor.

No ano agrícola 2014/2015, as lâminas de irrigação influenciaram nos valores de STa das fases vegetativa e reprodutiva da cultura, não diferindo para a fase de enchimento de grãos (Figura 3). Na fase vegetativa (EM-R1) houve uma diferença de 30 °C dia entre a lâmina de 0% e 200% da ETc em todos os métodos de STa (Figura 3). Boonjung & Fukai (1996) explicam que a duração da fase vegetativa depende da intensidade e da duração da restrição hídrica para o arroz. Apesar da elevada disponibilidade hídrica no período (Figura 2c), a ausência de irrigação causou uma leve restrição hídrica nas plantas, corroborando com a afirmação de Boonjung & Fukai (1996).

As plantas de arroz submetidas à condição de sequeiro (0% da ETc), não completaram a fase reprodutiva (R1-R4) no ano agrícola 2014/2015, devido ao estresse hídrico. Assim, a análise estatística foi feita somente para as lâminas de 50 a 200% da ETc. A diferença entre as lâminas de 50% e 200% da ETc foi de 42,8 °C dia a mais na STa da fase R1-R4. Esta diferença pode estar relacionada com a temperatura do dossel vegetal. O estresse hídrico causa a elevação da temperatura do dossel vegetal, reduzindo a capacidade fotossintética e a taxa de transpiração das plantas (Yan et al., 2012), ocorrendo a alteração na duração da fase.

Na fase de enchimento de grãos (R4-R9) do ano agrícola 2014/2015 não houve diferença significativa nos valores de STa sob efeito das lâminas de irrigação, independente do método de cálculo de soma térmica utilizado. Lilley & Fukai (1994) em estudo com cultivares de arroz de terras altas com diferentes disponibilidades hídricas, também verificaram que a duração da fase R4-R9 tem pouca resposta à disponibilidade hídrica, corroborando com os dados deste trabalho.

Os valores de CV% dos grupos de cultivares (Tabela 2) foram semelhantes entre os métodos em cada fase de desenvolvimento, mas em geral os menores valores são do método 3.1. Streck et al. (2007a) calcularam a soma térmica pelo método 3.1 utilizado neste trabalho, e verificaram variação nos valores de STa de aproximadamente 100 °C dia na duração do ciclo completo (EM-R9) de arroz irrigado, em diferentes anos de experimento. No presente

trabalho a variação foi de 269,1 °C dia, o que pode ser devido ao cultivo ter sido realizado com sistema de irrigação por aspersão.

No ano agrícola 2014/2015, ocorreu diferença significativa nos valores de STa dos grupos de cultivares nas fases vegetativa e reprodutiva em todos os métodos de cálculo da STa, e na fase de enchimento de grãos para os métodos 2.1, 3.1 e 3.2 (Figura 4). A diferença na fase vegetativa (EM-R1) ocorre devido às características genéticas das cultivares. De acordo com as temperaturas cardinais da fase vegetativa determinadas por Lago et al. (2009), cultivares provenientes de hibridação possuem menor temperatura basal inferior (8,0 °C) em relação as demais cultivares (9,3 °C). Assim, há um maior acúmulo térmico mesmo que a classificação de ambas seja como cultivares de ciclo médio.

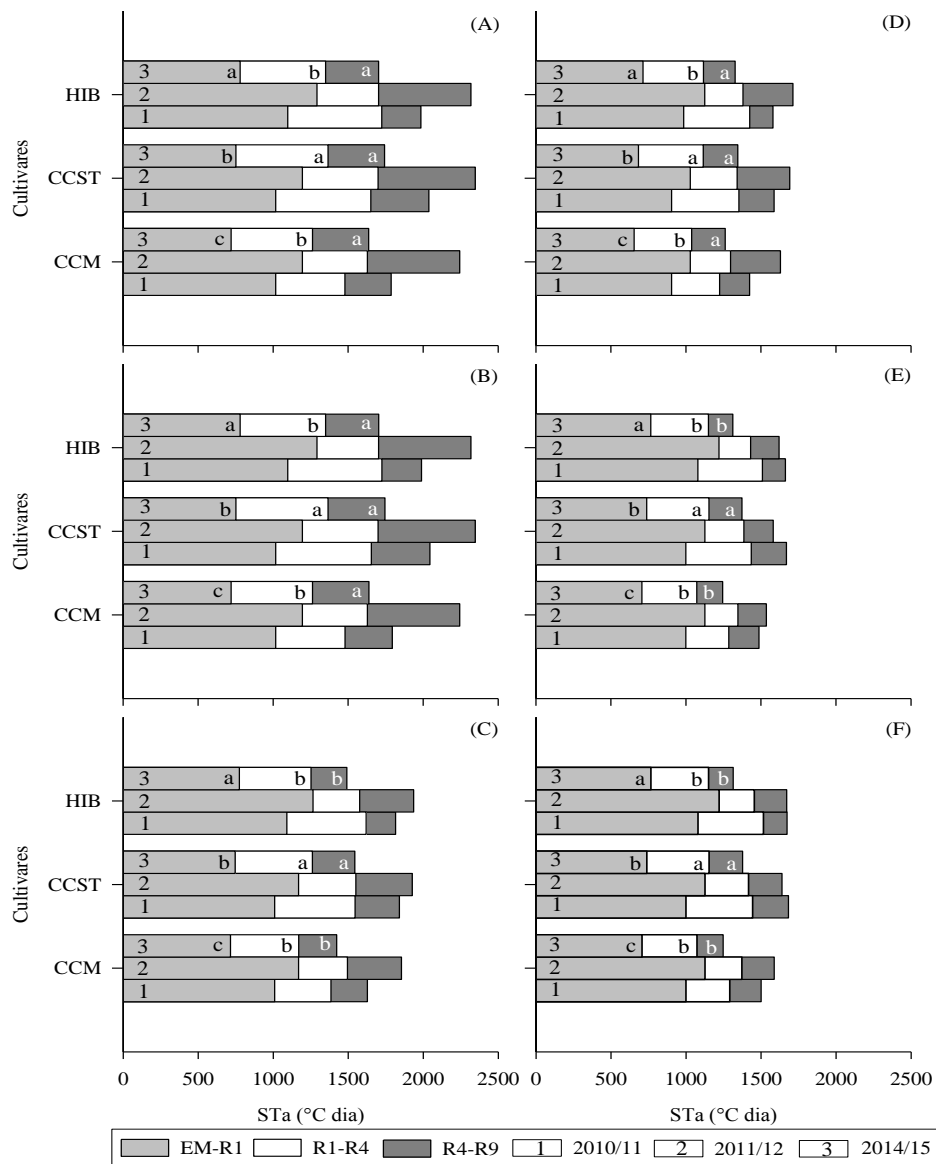


Figura 4. Soma térmica acumulada (STa, °C dia) nas fases de desenvolvimento vegetativo (EM-R1), reprodutivo (R1-R4) e enchimento de grãos (R4-R9) de cultivares de arroz de terras

baixas [cultivares de ciclo médio (CCM): IRGA 428 e IRGA 417; cultivares de ciclo semi-tardio (CCST): IRGA 429 e IRGA 424; cultivares híbridas (HIB): XP 102 CL e INOV CL] irrigado por aspersão, calculada por seis métodos de soma térmica (A= 1.1; B= 1.2; C= 2.1; D= 2.2; E= 3.1 e F= 3.2), com dados de três anos agrícolas (1= 2010/2011; 2= 2011/2012 e 3= 2014/2015). Letras minúsculas comparam valores de cada método em cada fase de desenvolvimento, entre as cultivares do ano agrícola 2014/2015, sendo que letras iguais não diferem pelo teste de Tukey ($p>0,05$). Fonte: do autor.

Na fase reprodutiva (R1-R4), a cultivar IRGA 429 apresentou os maiores valores de STa (415,2 à 613,8 °C dia). Freitas et al. (2006) em trabalho com cultivares de arroz de terras baixas, verificaram que há variação na duração das fases de desenvolvimento, em dias do calendário civil, de acordo com o ciclo da cultivar. Como a cultivar IRGA 429 é classificada como de ciclo semi-tardio, é normal que sua STa na fase seja maior que das demais cultivares (IRGA 428 e XP 102 CL), que são de ciclo médio.

No enchimento de grãos (R4-R9), somente ocorreu diferença significativa para os métodos 2.1, 3.1 e 3.2. As diferenças nestes métodos ocorreram de acordo com a característica de ciclo das cultivares, sendo maior para ciclo semi-tardio (IRGA 429), e menor para ciclo médio (IRGA428 e XP 102 CL). Uma hipótese é de que os métodos que utilizam apenas uma temperatura cardinal (T_b) não conseguem diferenciar a duração do ciclo de cultivares em períodos curtos como o R4-R9, ocultando diferenças de duração do ciclo de desenvolvimento que são identificadas pelos métodos que consideram mais de uma temperatura cardinal (T_b , T_{ot} e T_B).

Quando considerado todo o ciclo de desenvolvimento (EM-R9) nos três anos agrícolas, a STa das cultivares pelo método 3.1 variou de 1245,3 à 1669,8 °C dia. Pelo mesmo método de cálculo Streck et al. (2007a), em trabalho com diferentes cultivares de arroz de terras baixas, verificaram que cultivares de ciclo médio e semi-tardio necessitam de 1750 à 2100 °C dia para completar o ciclo de desenvolvimento (EM-R9). Assim, verifica-se que no sistema de irrigação por aspersão a STa foi menor do que as encontrada por Streck et al. (2007a).

Nos três anos de experimento, a STa para lâminas de irrigação e cultivares de arroz de terras baixas foi maior para os métodos 1.1 e 1.2, intermediária para os métodos 2.1 e 2.2 e menor para os métodos 3.1 e 3.2. Conforme observado por Rosa et al. (2009), isso ocorre quando a temperatura média diária se encontra acima da temperatura ótima para as plantas.

Os valores de CV% do ciclo completo da cultura são, em geral, baixos nos métodos que consideram as três temperaturas cardinais. Porém, analisando os valores de cada fase separada, verificam-se valores elevados, o que afeta a precisão na determinação da duração de cada fase de desenvolvimento. A hipótese é que isso ocorre devido ao efeito da disponibilidade hídrica nestas fases. Para que seja considerado este efeito é necessária a adaptação e calibração de modelos lineares e não lineares de desenvolvimento, a fim de melhorar a precisão da estimativa da duração das fases de desenvolvimento de arroz de terras baixas irrigado por aspersão, considerando assim a restrição hídrica deste sistema de irrigação.

4 CONCLUSÕES

Os métodos de soma térmica apresentam valores diferentes em uma mesma fase de desenvolvimento do arroz de terras baixas irrigado por aspersão, sendo que os métodos que consideram mais de uma temperatura cardinal os que apresentam menor variação entre os anos.

Quanto menor a lâmina de irrigação por aspersão, maior é a duração do ciclo de desenvolvimento do arroz de terras baixas.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 1998. 300p.
- BOONJUNG, H.; FUKAI, S. Effects of soil water deficit at different growth stages on rice growth and yield under upland conditions. 2. Phenology, biomass production and yield. **Field Crops Research**, v.48, p.47-55, 1996.
- 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**, v.56, n.6, p.796-804, 2009.
- BURIOL, G.A.; SCHNEIDER, F.M.; ESTEFANEL, V.; HOFFMANN, A. Ocorrência e duração das temperaturas mínimas diárias do ar prejudiciais à fecundação das flores do arroz em Santa Maria, RS. 1 - Probabilidades de ocorrência. **Ciência Rural**. v.21, n.1, p.23-34, 1991.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Porto Alegre: CQFS-RS/SC, 10ed., 2004. 400 p.
- COUNCE, P.A.; KEISLING, T.C.; MITCHELL, A.J. A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. **Crop Science**, v.40, n.2, p.436-443, 2000.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa, 3ed., 2013. 353 p.
- EMBRAPA. **Características das cultivares de arroz irrigado na região subtropical – Ciclo**. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/arroz/arvore/CONT000f0jvokoc02wyiv80bhgp5povqqj3b.html>> Acesso em: 15 de jan. de 2016.
- FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.
- FREITAS, T.F.S.; SILVA, P.R.F.; STRIEDER, M.L.; SILVA, A.A. Validação de escala de desenvolvimento para cultivares brasileiras de arroz irrigado. **Ciência Rural**, v.36, n.2, p. 404-410, 2006.
- GAO, L.; JIN, Z.; HUANG, Y.; ZHANG, L. Rice clock model – a computer model to simulate rice development. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.60, n.1, p.1-16, 1992.
- GILMORE JUNIOR., E.C.; ROGERS, J.S. Heat units as a method of measuring maturity in corn. **Agronomy Journal**, v.50, n.10, p.611-615, 1958.
- LAGO, I.; STRECK, N.A.; CARVALHO, M.P.; FAGUNDES, L.K.; PAULA, G.M. de; LOPES, S.J. Estimativa da temperatura base do subperíodo emergência - diferenciação da panícula em arroz cultivado e arroz vermelho. **Revista Ceres**, v.56, n.3, p.288-295, 2009.

LILLEY, J.M.; FUKAI, S. Effect of timing and severity of water deficit on four diverse rice cultivars III. Phenological development, crop growth and grain yield. **Field Crops Research**, v.37, p.225-234, 1994.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. Viçosa: Edit. UFV, 3ed., 2009. 486 p.

NOAA - NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. **Historical El Niño/ La Niña episodes: Cold e warm episodes by season**. Disponível em: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears_1971-2000_climo.shtml> Acesso em 21 de jan. de 2016.

PEDRO JÚNIOR, M.J.; SENTELHAS, P.C.; MORAES, A.V.C.; VILLELA, O.V. Estimativa da produtividade de arroz irrigado por inundação em função da temperatura do ar e da radiação solar. **Scientia Agrícola**, v.52, n.1, p.96-100, 1995.

ROSA, H.T.; STRECK, N.A.; WALTER, L.C.; RIBAS, G.G.; CARLI, C.; MARCHESAN, E. Simulação do crescimento e produtividade de arroz no Rio Grande do Sul pelo modelo SimulArroz. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n. 12, p.1159-1165, 2015.

ROSA, H.T.; WALTER, L.C.; STRECK, N.A.; ALBERTO, C.M. Métodos de soma térmica e datas de semeadura na determinação de filocrono de cultivares de trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.11, p.1374-1382, 2009.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO – SOSBAI. **Arroz Irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**, Pelotas: SOSBAI, 2007. 161 p.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO – SOSBAI. **Arroz Irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**, Santa Maria: SOSBAI, 2014. 192 p.

STEINMETZ, S. Influência do clima na cultura do arroz irrigado no Rio Grande do Sul. In: GOMES, A.S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A.M. (Ed.). **Arroz Irrigado no Sul do Brasil** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004, p.45-74.

STRECK, N.A. A generalized nonlinear air temperature response function for node appearance rate in muskmelon (*Cucumis melo* L.). **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.10, n.1, p.105-111, 2002.

STRECK, N.A.; BOSCO, L.C.; LUCAS, D.D.P.; LAGO, I. Modelagem da emissão de folhas em arroz cultivado e em arroz-vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.5, p.559-567, 2008.

STRECK, N.A.; MICHELON, S.; BOSCO, L.C.; LAGO, I.; WALTER, L.C.; ROSA, H.T.; DE PAULA, G.M. Soma térmica de algumas fases do ciclo de desenvolvimento da escala de Counce para cultivares sul-brasileiras de arroz irrigado. **Bragantia**, v.66, n.2, p.357-364, 2007a.

STRECK, N.A.; PAULA, F.L.M.; BISOGNIN, D.A.; HELDWEIN, A.B.; DELLAI, J. Simulating the development of field grown potato (*Solanum tuberosum* L.). **Agricultural and Forest Meteorology**, v.142, p.1-11, 2007b.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 4ed., 2009. 848 p.
TRENTIN, R.; SCHREIBER, F.; STRECK, N.A.; BURIOL, G.A. Soma térmica de subperíodos do desenvolvimento da planta de melancia. **Ciência Rural**, v.38, n.9, p.2464-2470, 2008.

VENKATARAMAN, S.; STEINMETZ, S.; CRUZ, R.T.; DAS, H.P. Agrometeorology and rice production. In: World Meteorological Organization. (Ed.). **Guide to Agricultural Meteorological Practices**. Genebra, 2007. p.1-42. Acesso em: 01 de ago. de 2015.
Disponível em: <http://www.agrometeorology.org/fileadmin/insam/repository/gamp_chapt13F.pdf>

WREGE, M.S.; STEINMETZ, S.; REISSER JÚNIOR, C.; DE ALMEIDA, I.R. **Atlas climático da Região Sul do Brasil: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas, 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**. v.15, n.2, p. 92-99, 2012.