

# Crescimento e desenvolvimento de genótipos de arroz cultivados em solo alagado e não-alagado

Leosane Cristina Bosco<sup>1</sup>, Edenir Luis Grimm<sup>1</sup>, Nereu Augusto Streck<sup>2</sup>

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi quantificar e relacionar alguns parâmetros de crescimento e desenvolvimento de genótipos de arroz cultivados em solo alagado e em solo não alagado. Um experimento de campo foi conduzido em Santa Maria, RS, durante o ano agrícola 2005/2006 em dois ambientes de solo (alagado e não alagado), com três datas de semeadura (26/09/2005, 25/11/2005 e 02/02/2006) e cinco genótipos. Cada repetição foi um vaso com 15 plantas. Os genótipos utilizados foram: EPAGRI 109, IRGA 417 e BRS 7 TAIM, recomendados para solo alagado e BRS TALENTO e BRS COLOSSO, recomendados para solo não alagado. Em cinco plantas por vaso foram medidos a data dos principais estádios de desenvolvimento, a área de folhas, estatura, o perfilhamento, o filocrono e o número final de folhas. O arroz cultivado em ambiente de solo não-alagado apresenta redução no crescimento e desenvolvimento vegetativo, com menor crescimento das folhas, menor velocidade de emissão de folhas e duração mais longa da fase de início do perfilhamento até a diferenciação da panícula. Já o desenvolvimento reprodutivo a partir da diferenciação da panícula é similar quando o arroz é cultivado em ambientes alagado e não alagado.

**Palavras-chave:** *Oryza sativa* L., características morfológicas, filocrono, fenologia.

## ABSTRACT

### Growth and development of rice genotypes grown in flooded and non flooded soil

The objective of this study was to quantify and relate some growth and developmental parameters of rice genotypes grown in flooded and non flooded soil. A field experiment was carried out in Santa Maria, RS, Brazil, during the 2005/2006 growing season with two soil conditions (flooded and non flooded), three sowing dates (09/26/2005, 11/25/2005, 02/02/2006) and five genotypes. Each replication consisted of a pot with 15 plants. The tested genotypes included EPAGRI 109, IRGA 417 and BRS 7 TAIM, recommended for flood irrigated soil, and BRS TALENTO and BRS COLOSSO, recommended for upland system. Data of major developmental stages, leaf area, height, tillering, phyllochron, and final leaf number were measured on five plants per pot. Rice grown in non flooded soil has less vegetative growth and development, with lower leaf growth, lower leaf appearance rate and longer duration of the onset of tillering to panicle differentiation phase. Reproductive development from panicle differentiation on is similar for both rice grown in flooded and non flooded soil.

**Key words:** *Oryza sativa* L., morphological characteristics, phyllochron, phenology.

Recebido para publicação em março de 2008 e aprovado em setembro de 2009

<sup>1</sup> Engenheiros-Agrônomos, Mestres. Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Av. Roraima, 1000, Campus Universitário, CAMOBI, 97105-900, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.

<sup>2</sup> Engenheiro-Agrônomo, Ph. Doctor. Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Av. Roraima, 1000, Campus Universitário, CAMOBI, 97105-900, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. nstreck1@mail.ufsm.br. Autor para correspondência.

## INTRODUÇÃO

O cultivo de arroz no Brasil é realizado em dois sistemas: arroz alagado e arroz de Terras Altas ou arroz de sequeiro (Ferreira *et al.*, 2005). O arroz é uma planta adaptada a solos alagados, mas que cresce bem em solos não-alagados (Guimarães *et al.*, 2002). Entre os genótipos de arroz cultivados existem diferenças fisiológicas e morfológicas devido ao melhoramento genético e, em parte, à influência do ambiente de solo em que as plantas crescem (Washio, 1993; Pinheiro *et al.*, 2006). Genótipos de arroz desenvolvidos para solo não-alagado possuem algumas características que as distinguem dos genótipos de arroz melhorados para solo alagado, como porte médio a alto, folhas maiores, mais largas e decumbentes, menor perfilhamento e menor relação grão/palha (Ferreira *et al.*, 1983; Washio, 1993).

A seleção de genótipos de arroz para solo não-alagado tem, na resistência ao déficit hídrico, uma das principais metas; devido a isso, esses genótipos têm sistema radicular maior e mais profundo, um mecanismo de fechamento estomático mais rápido em resposta ao déficit hídrico, enrolamento das folhas nas horas mais quentes do dia e maior espessura de cutícula (Ferreira *et al.*, 1983; Washio, 1993). O melhoramento genético do arroz tem investido mais em características como arquitetura de planta, aparência e qualidade de grão e resistência a doenças que podem potencializar a produtividade dos genótipos de arroz de sequeiro (Pinheiro *et al.*, 2006).

O cultivo de arroz em solo alagado tem grande impacto ambiental e financeiro, pela grande demanda hídrica (Lafitte *et al.*, 2006; Kijne, 2006). Em longo prazo, o uso da água de rios e reservatórios deverá sofrer taxaço dos órgãos de proteção ambiental. O cultivo de arroz em solo não alagado passa a ser uma alternativa para esse problema. Além disso, poderia ser uma alternativa rentável para os orizicultores, pela possibilidade de plantio em áreas da propriedade em que não é viável a manutenção do alagamento do solo (Embrapa, 2003).

O arroz alagado apresenta maior potencial de rendimento em áreas experimentais (cerca de 12 t ha<sup>-1</sup>), comparado com o arroz de sequeiro, o qual tem potencial para atingir 4-6 t ha<sup>-1</sup> (Pinheiro, 2005; Pinheiro *et al.*, 2006). Alguns trabalhos relatam produtividades semelhantes de genótipos desenvolvidos para áreas de solo alagado cultivados em irrigação por aspersão, em áreas de solo não alagado no Rio Grande do Sul (Toeschler & Köpp, 2002; Marques *et al.*, 2003; Toeschler *et al.*, 2003; Ancielo *et al.*, 2005). Entretanto, nesses trabalhos foram determinados apenas parâmetros relacionados ao rendimento da cultura, como produtividade, número de grãos por panícula e peso de mil grãos. A caracterização de parâmetros de crescimento e desenvolvimento dos genótipos pode ajudar em me-

lhor refinar técnicas de cultivo e, no caso do arroz cultivado em diferentes ambientes de solo, pode ajudar a explicar as diferenças e semelhanças de rendimento de grãos entre o cultivo em solos alagado e não-alagado, o que ainda não é conhecido nas condições de cultivo do Rio Grande do Sul, constituindo o incentivo para este estudo.

O objetivo deste trabalho foi quantificar e relacionar alguns parâmetros de crescimento e desenvolvimento de genótipos de arroz cultivados em solo alagado e não-alagado.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento de campo foi conduzido em Santa Maria, RS (latitude de 29°43' S; longitude de 53°43' W e altitude de 95 m), no ano agrícola 2005/2006. A semeadura e o cultivo das plantas ocorreram em vasos de 30 cm de diâmetro e 26 cm de altura, com capacidade de 12 litros. Esses foram enterrados, deixando-se uma borda de 5 cm acima do nível do solo e preenchidos com solo local classificado como Argissolo Vermelho distrófico arênico (Embrapa, 2006). O espaçamento entre os vasos foi de 1,5 x 0,8 m. Foram semeadas 30 sementes por vaso. As semeaduras foram realizadas em três datas: 26/09/2005, 25/11/2005 e 02/02/2006. Essas datas foram usadas por se situarem antes, durante e após a época recomendada de semeadura do arroz para a região, que é de 01/10 a 10/12 (Sosbai, 2005), e assim ter plantas crescendo e desenvolvendo em condições meteorológicas distintas.

Foram utilizados cinco genótipos de arroz, todos do tipo moderno e da subespécie *indica*, EPAGRI 109 (ciclo tardio), IRGA 417 (ciclo precoce), BRS 7 TAIM (ciclo médio), recomendadas para sistema de cultivo de arroz alagado, e BRS TALENTO (ciclo semiprecoce) e BRS COLOSSO (ciclo precoce), recomendadas para o sistema de cultivo em Terras Altas. Os genótipos de arroz alagado usados nesse experimento são recomendados para o Rio Grande do Sul (Sosbai, 2005).

O dia da emergência foi considerado quando 50% das plântulas estavam com o prófio visível acima do nível do solo. O manejo e a adubação das plantas seguiram as recomendações da cultura do arroz alagado (Sosbai, 2005). No estádio V3 da escala de Counce *et al.* (2000) foi feito um raleio das plântulas, deixando-se 15 por vaso, cinco das quais foram marcadas, aleatoriamente, com arames coloridos. Também nesse estádio de desenvolvimento foi realizado o início da irrigação no tratamento de solo alagado, de modo a manter uma lâmina de água de aproximadamente 5 cm até o final do ciclo de desenvolvimento, conforme a recomendação da cultura (Sosbai, 2005). No tratamento de solo não alagado, a quantidade de água aplicada por irrigação manual, com regador, foi calculada em função da evapotranspiração potencial da cultura (ETP), segundo o Método de Camargo (ETPC):  $ETPC = (0,01 \times (Ra/59)) \times tmed$

(Medeiros, 1998), sendo  $R_a$  a radiação solar incidente no topo da atmosfera ( $\text{cal cm}^{-2} \text{min}^{-1}$ ), transformado em equivalente em milímetros (mm), e  $t_{\text{med}}$  a temperatura média diária. Após o cálculo da ETP, a evapotranspiração máxima da cultura (ET<sub>m</sub>) foi calculada em milímetros (mm), por:  $\text{ET}_m = \text{ETP} \times K_c$ , sendo  $K_c$  o coeficiente de cultura para o arroz de Terras Altas. Os valores de  $K_c$ , para arroz cultivado em solo não-alagado, encontrados na literatura são para o Estado do Mato Grosso, Região Centro-Oeste do Brasil (Crusciol *et al.*, 2003). Esses valores de  $K_c$  variam ao longo do ciclo de desenvolvimento do arroz, o qual é expresso em dias. Por isso, foi realizada uma adaptação desses valores de  $K_c$  para torná-los mais realísticos do ponto de vista biológico e assim usá-los nas condições climáticas da Região Central do Rio Grande do Sul, uma vez que o ciclo do arroz em dias é diferente no MT e no RS. Para fazer esse ajuste utilizou-se a escala de Counce *et al.* (2000) ao invés de dias do ano para determinar a quantidade de água necessária em cada fase.

Além das modificações do  $K_c$  para cada fase de desenvolvimento, foi realizado também um ajuste nos valores do  $K_c$  em função do efeito da advecção na área em volta do vaso, pela falta de uma bordadura. Em razão da amplitude térmica diária (ATD), diferença entre a temperatura máxima e mínima diária, foi estimado empiricamente um valor de correção para o  $K_c$ , com base na advecção. Nos dias em que a ATD foi  $\geq 8^\circ\text{C}$  e  $< 12^\circ\text{C}$ , estipulou-se uma correção, para mais, de 10% no valor do  $K_c$ . Para uma  $\text{ATD} \geq 12^\circ\text{C}$  e  $< 16^\circ\text{C}$ , o valor estipulado foi de 15%, e para uma  $\text{ATD} \geq 16^\circ\text{C}$  o valor estipulado foi de 20%. Efetuado o ajuste do  $K_c$  para cada fase de desenvolvimento e para cada amplitude térmica, foi calculada a ET<sub>m</sub>, em  $\text{mm dia}^{-1}$ , para o cultivo em solo não alagado. Com essa metodologia, as plantas foram cultivadas em solo não alagado crescendo e se desenvolvendo em condição próxima a uma lavoura de arroz de Terras Altas irrigada no Rio Grande do Sul.

O desenvolvimento da cultura de arroz, da fase inicial de irrigação (V3) até o início da formação da panícula (R1), é mais afetado pela temperatura do solo e da água do que a do ar, pois o ápice meristemático responsável pela diferenciação das folhas, perfilhos e panículas permanece sob a água e no interior do solo (Sosbai, 2005). Após R1, ocorre a alongação do colmo e o ápice meristemático desloca-se para cima do nível do solo e da água, e, portanto, a partir de então o desenvolvimento é governado pela temperatura do ar. Por isso, realizou-se durante alguns dias típicos na época 2 desse experimento medidas de temperatura do solo alagado, solo não-alagado e temperatura do ar no período de início do perfilhamento. A temperatura do solo a 5 cm de profundidade foi medida com geotermômetros de vidro e coluna de mercúrio com resolução de  $0,1^\circ\text{C}$ , instalados em um vaso de cada ambiente

de solo em dias sem nebulosidade (dias límpidos). As medidas foram realizadas às oito horas do dia 09/12/2005 e às 15 h nos dias 09/12, 11/12, 13/12, 15/12, 17/12, 19/12, 21/12 e 23/12/2005.

Nas plantas marcadas mediram-se com régua o comprimento (C) e a maior largura (L) (após expansão completa) da sexta, décima e da folha-bandeira, identificadas acropetalmente no colmo principal. Depois de realizadas as medições, calculou-se a área foliar final (AF,  $\text{cm}^2$ ) de cada uma das folhas, utilizando-se a equação descrita por Tivet *et al.* (2001):  $\text{AF} = C * L * 0,74$ . No colmo principal das plantas marcadas foi ainda medida a estatura final de planta, o número final de folhas (NFF) no momento do aparecimento do colar da folha-bandeira (R2) e, semanalmente, o número de folhas e o comprimento da última e penúltima folhas para o cálculo do Estádio de Haun (HS, folhas), que representa o número de folhas completamente expandidas (NF) mais a razão entre o comprimento da última ( $L_n$ ) e o da penúltima folhas ( $L_{n-1}$ ), por meio da equação (Haun, 1973):  $\text{HS} = (\text{NF} - 1) + L_n / L_{n-1}$ . Também foi determinado o número de perfilhos com atividade fotossintética evidente (verdes) nas plantas marcadas, quando elas tinham HS igual a 10 folhas, assumindo-se que a partir desse momento não haveria surgimento de novos perfilhos.

Diariamente, nas plantas marcadas observou-se a data de ocorrência dos seguintes estádios de desenvolvimento no colmo principal das plantas, conforme a escala de Counce *et al.* (2000): aparecimento do primeiro perfilho (IP), diferenciação da panícula (R1), aparecimento do colar da folha bandeira (R2), antese (R4) e maturação fisiológica (R9). Dividiu-se o ciclo de desenvolvimento do arroz nas fases: EM-IP, IP-R1, R1-R2, R2-R4 e R4-R9. Desses estádios de desenvolvimento, apenas o R1 foi determinado por método destrutivo. Para tanto, uma planta não marcada foi retirada de cada vaso e cortada ao meio no sentido vertical com uma navalha para identificação da diferenciação da panícula quando essa tinha 2 mm de comprimento (Sosbai, 2005). Quando 50% das plantas atingiam esse estádio, mediu-se o HS e anotou-se a sua data de ocorrência.

A soma térmica diária (ST<sub>d</sub>,  $^\circ\text{C dia}$ ) foi calculada segundo Gilmore & Rogers (1958):  $\text{ST}_d = (T_m - T_b) \cdot 1 \text{ dia}$ , sendo  $T_m$  a temperatura média diária do ar, calculada pela média aritmética das temperaturas máxima e mínima diária do ar e  $T_b$  a temperatura base do arroz. Assumiu-se uma  $T_b = 11^\circ\text{C}$  (Infeld *et al.*, 1998). A soma térmica acumulada (ST<sub>a</sub>,  $^\circ\text{C dia}^{-1}$ ) foi calculada pelo somatório da soma térmica diária, ou seja,  $\text{ST}_a = \sum \text{ST}_d$ . Foi realizada uma regressão linear entre HS na haste principal e ST<sub>a</sub> a partir da emergência até HS = 12. O filocrono ( $^\circ\text{C dia folha}^{-1}$ ) no colmo principal foi estimado para cada vaso (média de cinco plantas) como sendo o inverso do coeficiente angular da regressão linear entre HS e ST<sub>a</sub> (Wilhelm & McMaster, 1995; Xue *et al.*, 2004).

As temperaturas mínima e máxima diária do ar e a precipitação pluviométrica durante o período experimental foram medidas em uma estação meteorológica convencional pertencente ao 8° DISME/MA e localizada a aproximadamente 200 metros da área experimental.

A análise dos dados foi realizada considerando-se um experimento fatorial (2 ambientes de solo x 5 genótipos x 3 datas de semeadura) no delineamento inteiramente casualizado. Aos resultados obtidos aplicou-se a análise de variância em esquema fatorial, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Quando as interações não foram significativas, compararam-se as médias dos efeitos principais e quando as interações duplas foram significativas, compararam-se as médias dentro de cada fator.

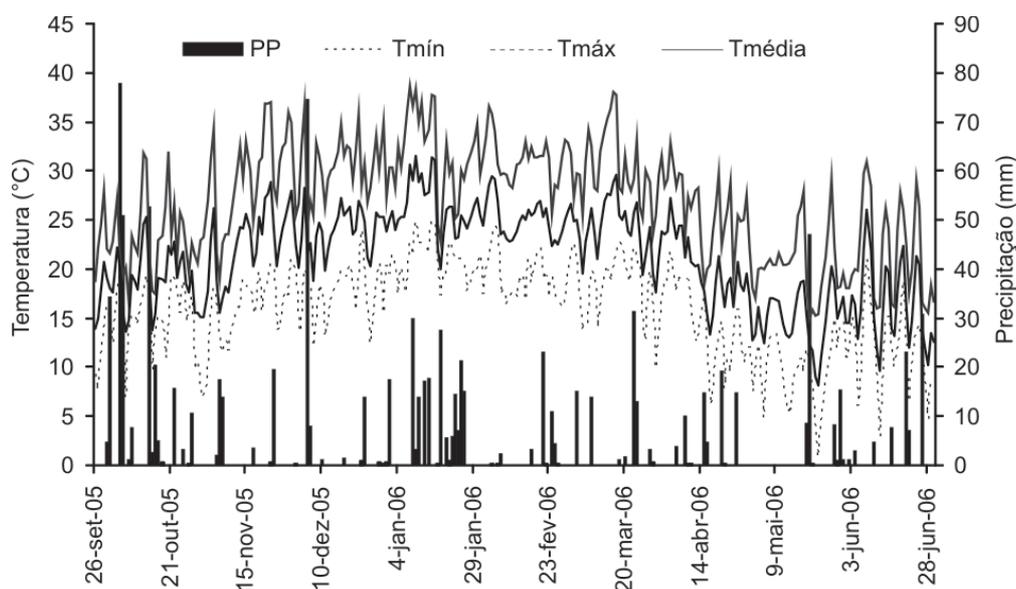
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As três épocas de semeadura proporcionaram condições meteorológicas distintas durante o ciclo de desenvolvimento das plantas de arroz (Figura 1). A média da temperatura mínima diária do ar foi de 17,6 °C, 17,1 °C e 14,4 °C, a da temperatura máxima diária foi de 29,4 °C, 29,1 °C e 26,3 °C e a da temperatura média diária foi de 23,5 °C, 23,1 °C e 20,3 °C. A precipitação pluviométrica acumulada no período compreendido entre a emergência das plantas de arroz até a última coleta de dados nas épocas 1, 2 e 3 foi de 736, 493,9 e 281,8 mm, respectivamente, com dois picos de precipitação de 78 e 74,6 mm ocorridos em 04/10/2005 e 04/12/2005, respectivamente. A exposição a distintas condições meteorológicas é importante nos estudos de avaliação de parâmetros de crescimento e desenvolvimento vegetal (Streck *et al.*, 2005).

As plantas semeadas na época mais tardia não terminaram a fase reprodutiva (R9), em função das baixas temperaturas ocorridas a partir de abril de 2006 (Figura 1). Nessa época houve a emissão da folha bandeira, mas também em virtude das baixas temperaturas, as folhas tinham a extremidade seca e, frequentemente, com o limbo enrolado, o que dificultou a medida de suas dimensões. Assim, não foi possível medir as dimensões da folha bandeira, a estatura e a soma térmica das fases R2-R4 e R4-R9 nos genótipos BRS COLOSSO, BRS TALENTO, IRGA 417 e BRS 7 TAIM nos dois ambientes de solo, na última data de semeadura. Ainda na última época, o cultivar EPAGRI 109, por ter ciclo muito longo, não atingiu R2 no ambiente de solo não alagado e, portanto, além das variáveis já citadas, não se teve o NFF desse genótipo. Sendo assim, para a análise estatística das variáveis área da folha bandeira e estatura de planta consideraram-se apenas os fatores ambiente de solo e genótipo (Tabela 1).

O efeito dos fatores principais ambiente de solo, época de semeadura e genótipo pode ser observado na Tabela 1. Para esses fatores o maior quadrado médio ocorreu na variável filocrono, utilizada para estimar o número de folhas em poáceas. Para a variável filocrono observa-se, para todos os genótipos avaliados, que em ambiente de solo não alagado há baixa velocidade de emissão de folhas (dado pelo maior valor de filocrono, Tabela 2). Verifica-se tendência de aumento de filocrono da primeira à última data de semeadura para os cinco genótipos, no entanto, essa diferença não é significativa (Tabela 3).

Na Tabela 1 observa-se também que em algumas variáveis houve interação significativa entre ambiente de solo\*genótipo (área da décima folha, estatura de planta,



**Figura 1.** Temperatura mínima (Tmín), máxima (Tmáx) e média (Tmédia) do ar e precipitação pluviométrica (PP) durante o período experimental.

**Tabela 1.** Valores de quadrado médio do quadro de análise da variância para diferentes parâmetros de crescimento e desenvolvimento de genótipos de arroz cultivados em solo alagado e não alagado.

Fonte de variação	Quadrado médio				
	AF6	AF10	AFB	EP	NP
Ambiente de solo (A)	2,05	391,39*	2217,04*	672,31*	9,28
Genótipo (G)	73,81*	1441,59*	147,73*	2154,65*	118,31*
Data de semeadura (D)	184,75*	649,99*	(-)	(-)	146,13*
A x G	1,61	102,67*	37,09	274,61*	20,58*
A x D	7,07	82,85*	(-)	(-)	0,08
G x D	3,97	31,10	(-)	(-)	11,39
Coefficiente de variação (%)	15,12	22,27	19,92	12,77	24,45

Fonte de variação	Quadrado médio			
	F	IP	R1	NFF
Ambiente de solo (A)	11215,02*	4,01*	44,99*	29,72*
Genótipo (G)	2689,01*	2,65*	33,99*	36,36*
Data de semeadura (D)	3640,87*	6,60*	6,58*	16,28*
A x G	184,66*	0,34*	0,8	1,19*
A x D	19,85	0,18	1,12	0,15
G x D	109,77*	0,11	0,74	1,12*
Coefficiente de variação (%)	10,98	6,08	3,96	4,13

\* Significativo a 5%, AF6 = área da sexta folha, AF10 = área da décima folha, AFB = área da folha bandeira, EP = estatura de planta, NP = número de perfilhos por planta, F = filocrono, IP = estágio de Haun (HS) quando a planta iniciou o perfilhamento, R1 = HS quando a planta estava no estágio de iniciação da panícula (ponto de algodão), NFF = número final de folhas. (-) variáveis em que foram considerados apenas dois fatores (ambiente de solo e genótipo).

**Tabela 2.** Área da décima folha (AF10), estatura de planta (EP), número de perfilhos (NP), filocrono (F), Estágio de Haun (HS) no início de perfilhamento (IP) e número final de folhas (NFF) quando houve interação entre as fontes de variação ambiente de solo x genótipo em genótipos de arroz cultivados em solo alagado e não alagado.

Genótipo	AF10 (cm <sup>2</sup> )		EP (cm)		NP	
	A1	A2	A1	A2	A1	A2
EPAGRI 109	18,0Ca	15,4Ba	60,8Ba	59,2Ba	11,8 ABa	13,2Aa
IRGA 417	16,2Ca	13,8Ba	48,1Ba	50,0Ba	13,0Aa	12,8Aa
BRS 7 TAIM	19,7Ca	16,9Ba	55,4Ba	50,8Ba	12,2ABa	13,0Aa
BRS TALENTO	39,1Aa	28,3Ab	80,6Aa	60,8ABb	10,7ABa	9,0Ba
BRS COLOSSO	26,3Ba	26,7Aa	79,1Aa	74,1Aa	9,4Ba	6,2Ba

Genótipo	F (°C dia folha <sup>-1</sup> )		IP (HS)		NFF	
	A1	A2	A1	A2	A1	A2
EPAGRI 109	51,8BCb	68,3CDa	4,8BCa	4,3BCb	18Aa	17Aa
IRGA 417	48,4Cb	60,1Da	5,2Ba	4,7Ab	16Ba	16Aa
BRS 7 TAIM	51,1BCb	73,6BCa	5,1ABa	4,5ABb	16Ba	14Bb
BRS TALENTO	68,9Ab	95,2Aa	4,1Da	4,0Ca	15Ca	14Ba
BRS COLOSSO	60,1ABb	80,5Ba	4,5Ca	4,4ABa	15Ca	13Bb

Médias seguidas por mesma letra maiúscula na vertical e minúscula na horizontal não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. A1 = ambiente de solo alagado, A2 = ambiente de solo não alagado.

número de perfilhos, filocrono, HS no início de perfilhamento e NFF), entre ambiente de solo\*data de semeadura (área da décima folha) e entre genótipo\*data de semeadura (filocrono e NFF). Essas interações resultam da resposta diferencial dos genótipos à variação ambiental e à variação de época de semeadura e da resposta diferencial da época de semeadura à variação ambiental. A interação genótipo\*ambiente, por exemplo, tem sido gran-

de desafio para os melhoristas, pois quando significativa é possível que o melhor genótipo em um ambiente não o seja em outro (Cruz & Regazzi, 1997), bem como a data de semeadura mais adequada para um genótipo não seja para outro.

Os genótipos BRS TALENTO e BRS COLOSSO tiveram maior área da sexta e décima folhas quando comparados aos demais, tendo em ambiente de solo alagado a

décima folha das plantas do genótipo BRS TALENTO crescido mais do que em ambiente de solo não-alagado (Tabelas 3 e 4), indicando que os genótipos recomendados para o cultivo em ambiente de solo não-alagado apresentaram maior área foliar (AF10) nos dois ambientes de solo, enquanto os genótipos recomendados para solo alagado tiveram AF10 menor e semelhante entre si. Além disso, no ambiente de solo alagado a área da folha-bandeira foi maior, independentemente do cultivar. Na data de semeadura mais tardia observou-se aumento na área da sexta e décima folhas, independentemente do genótipo e do ambiente de solo (Tabelas 3 e 4). Isso indica que o crescimento e desenvolvimento das folhas de arroz são influenciados pela presença/ausência de lâmina de água no solo, pela constituição genética e pela época de semeadura.

Com relação ao NFF, o cultivar EPAGRI 109, ciclo tardio, obteve maior NFF em ambiente alagado, diferindo significativamente das demais cultivares, enquanto BRS TALENTO e BRS COLOSSO, ciclo precoce, tiveram menor NFF (Tabela 2). O NFF no colmo principal tem relação direta com a duração do ciclo de desenvolvimento dos genótipos, quanto maior o NFF maior o ciclo de desenvolvimento (Streck *et al.*, 2006). Em ambiente de solo não-alagado não foram obtidos dados de NFF para o cultivar EPAGRI 109 na última data de semeadura, mas esse apresentou maior NFF em relação aos demais cultivares na primeira e segunda épocas de semeadura (Tabela 3), confirmando resultados de Streck *et al.* (2006) de que esse cultivar tem elevado NFF quando cultivado em diferentes ambientes.

**Tabela 3.** Filocrono (F) e número final de folhas (NFF) quando houve interação entre as fontes de variação data de semeadura x genótipo e área da décima folha (AF10) quando houve interação entre as fontes de variação ambiente de solo x data de semeadura em genótipos de arroz cultivados em solo alagado e não alagado.

Genótipo	F (°C dia folha <sup>-1</sup> )			NFF		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3
EPAGRI 109	51,7ABa	58,4Ba	70,0ABa	18Aa	18Aa	(-)
IRGA 417	46,8Aa	57,8Ba	58,3Ba	16Ba	16ABa	16ABa
BRS 7 TAIM	50,0ABa	66,6ABa	70,6ABa	16BCa	15BCab	14BCb
BRS TALENTO	70,0Ba	87,1Aa	90,9Aa	14Dab	15BCa	13Cb
BRS COLOSSO	55,9ABbc	79,0ABa	76,0ABac	15CDa	14Ca	13Ca

Semeadura	AF10 (cm <sup>2</sup> )	
	A1	A2
26/09/05	22,60Ba	16,49Bb
25/11/05	20,05Ba	19,58Ba
02/02/06	28,90Aa	24,58Aa

Médias seguidas por mesma letra maiúscula na vertical e minúscula na horizontal não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. D1 = primeira data de semeadura (26/09/05), D2 = segunda data de semeadura (25/11/05), D3 = terceira data de semeadura (02/02/06), A1 = ambiente de solo alagado, A2 = ambiente de solo não alagado. (-) Essa variável não foi obtida na terceira época de semeadura em ambiente não alagado.

**Tabela 4.** Área da sexta folha (AF6), área da folha bandeira (AFB), número de perfilhos (NP), Estagio de Haun (HS) no início de perfilhamento (IP) e HS no estágio de iniciação da panícula (R1) de genótipos de arroz cultivados em solo alagado e não alagado quando não houve interação entre as fontes de variação.

Ambiente de solo	AF6 (cm <sup>2</sup> )	AFB (cm <sup>2</sup> )	NP	IP (HS)	R1 (HS)
Alagado	10,07A	29,15A	#	#	12,78A
Não-alagado	9,81A	18,53B	#	#	11,52B

Genótipo	AF6 (cm <sup>2</sup> )	AFB (cm <sup>2</sup> )	NP	IP (HS)	R1 (HS)
EPAGRI 109	9,38B	20,01C	#	#	13,93A
IRGA 417	8,13C	21,66BC	#	#	12,64B
BRS 7 TAIM	8,70BC	24,39BC	#	#	11,91C
BRS TALENTO	12,29A	27,27A	#	#	11,15D
BRS COLOSSO	11,23A	26,22AB	#	#	11,03D

Datas de semeadura	AF6 (cm <sup>2</sup> )	AFB (cm <sup>2</sup> )	NP	IP (HS)	R1 (HS)
26/09/05	7,99C	(-)	13A	5,00A	12,54A
25/11/05	9,59B	(-)	10B	4,47B	12,14B
02/02/06	12,25A	(-)	10B	4,20C	11,73C

Médias seguidas por mesma letra na vertical não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. # fatores em que ocorreu interação dupla. (-) variável em que foi considerado apenas 2 fatores (ambiente de solo e genótipo).

Os genótipos BRS TALENTO e BRS COLOSSO apresentaram maior estatura de planta em relação aos demais em ambiente de solo alagado (Tabela 2), mas esse efeito não foi dependente das épocas de semeadura. A estatura dos genótipos EPAGRI 109, IRGA 417, BRS 7 TAIM e BRS COLOSSO não diferiu estatisticamente entre os ambientes. A menor EP, e a maior AF (Tabelas 2 e 4) dos genótipos EPAGRI 109, IRGA 417 e BRS 7 TAIM, em relação aos genótipos BRS TALENTO e BRS COLOSSO, podem ser devido ao contínuo melhoramento genético realizado nesses genótipos, o qual incorporou características de folhas mais curtas, estreitas e, conseqüentemente, eretas para melhorar a interceptação da radiação solar, assim como a incorporação de características de redução de estatura das plantas, visando reduzir o acamamento (Pinheiro *et al.*, 2006). Segundo Guimarães *et al.* (2002) e Pinheiro *et al.* (2006), nos genótipos de arroz indicados para cultivo em solo não-alagado, o melhoramento genético relacionado a essas características é mais recente e, portanto, ainda não completamente incorporados. Também o melhoramento genético buscou, ao longo dos anos, inserir características de resistência ao déficit hídrico no arroz para solo não-alagado, as quais não estão relacionadas com aquelas referentes à arquitetura de planta.

Em ambiente de solo não alagado os cultivares EPAGRI 109, IRGA 417 e BRS 7 TAIM tiveram maior número de perfilhos (NP) do que os demais genótipos (Tabela 3), característica que lhes confere maior competitividade com plantas daninhas e maior habilidade de compensação de espaços (Ni *et al.*, 2000). Entre os ambientes de solo não houve diferença significativa do NP dos genótipos, e entre datas de semeadura o NP foi menor apenas em relação à primeira data (Tabela 4). A data de semeadura pode influenciar o aparecimento de perfilhos, devido à competição intra-específica por recursos do meio ser alterada por diferentes condições meteorológicas que ocorrem em cada época do ano.

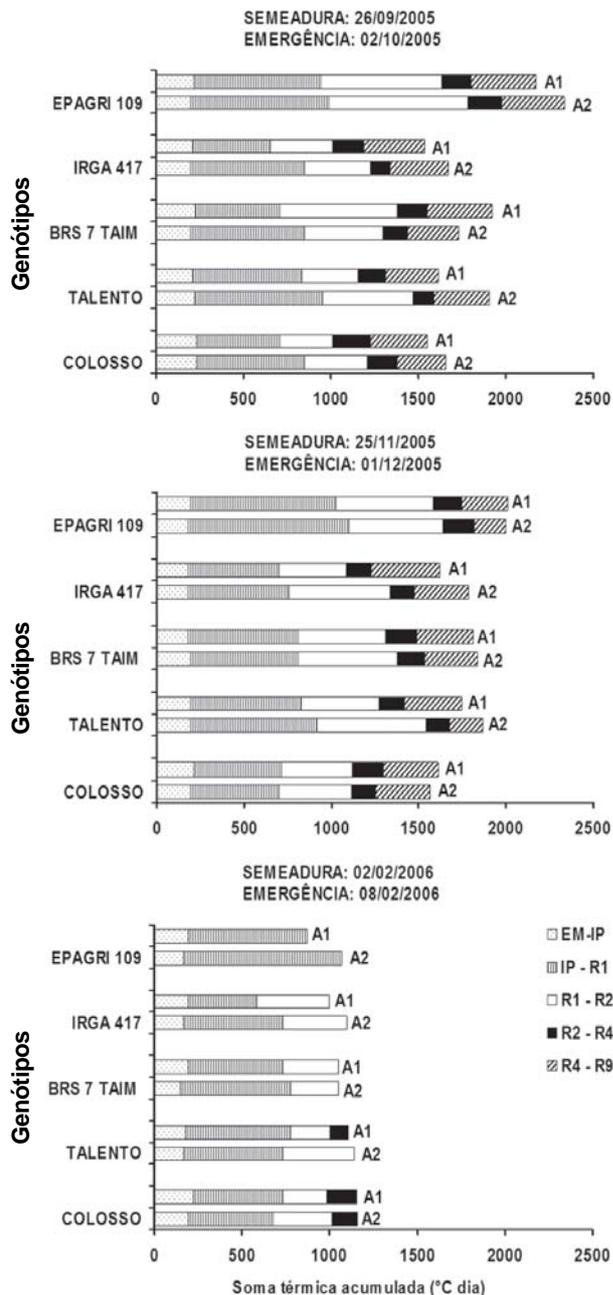
A determinação do momento do início do perfilhamento (IP) é importante, pois é nessa época que uma adubação nitrogenada de cobertura é recomendada (Sosbai, 2005). Os genótipos BRS TALENTO e BRS COLOSSO não modificaram o momento de aparecimento do primeiro perfilho quando cultivados nos dois ambientes de solo, mas o contrário ocorreu para os genótipos EPAGRI 109, IRGA 417 e BRS 7 TAIM, os quais emitiram perfilho com maior HS em ambiente de solo alagado. Uma provável hipótese para esses resultados é o fato de que a presença da lâmina de água pode interferir em características radiculares, devido à mudança do ambiente aeróbio para o anaeróbio, dessa forma a planta passa por um momento de adaptação, e a presença de lâmina de água é um fator inibitório para o aparecimento dos primeiros perfilhos (Lopes *et al.*, 1994).

A identificação do estágio de diferenciação da panícula (R1) de maneira não destrutiva e com fácil identificação a campo é de interesse para técnicos e agricultores adotarem o momento mais adequado para práticas de adubação. Uma maneira de fazer isso é identificando e associando o número de folhas (HS) existentes na haste principal da planta no momento da ocorrência de R1 em diferentes genótipos, datas de semeadura e ambiente de solo. Neste estudo, o estágio R1 ocorreu entre HS de 11,0 e 13,9 folhas para BRS COLOSSO e EPAGRI 109, respectivamente, (Tabela 4), momentos em que deve ser realizada a adubação nitrogenada de cobertura (Sosbai, 2005). Entre os ambientes, os menores valores de HS no R1 foram observados no ambiente de solo não alagado, e entre as datas de semeadura observa-se que quanto mais tarde ocorreu a semeadura menor número de folhas se formaram até o aparecimento do primeiro perfilho e a diferenciação da panícula. Esses resultados indicam que a adubação nitrogenada deve ser realizada mais cedo em plantas que se desenvolvem em ambiente não alagado e naquelas semeadas mais tardiamente.

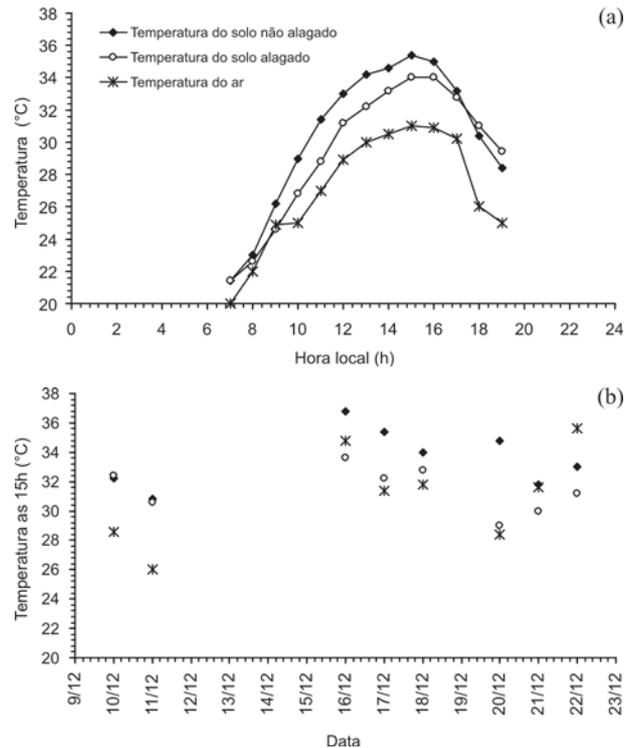
Houve variação na duração (°C dia) do ciclo total de desenvolvimento entre os genótipos e os ambientes de solo (Figura 2). A fase IP-R1 foi a mais longa e influenciada pelo ambiente de solo alagado e não-alagado, o que refletiu sobre o ciclo total. Na maioria dos genótipos, com exceção da BRS 7 TAIM na época 1, BRS COLOSSO e EPAGRI 109 na época 2, o ciclo total foi maior quando as plantas se desenvolveram no solo não-alagado. A hipótese para explicar o desenvolvimento mais lento das plantas no solo não-alagado é que nesse ambiente as temperaturas, frequentemente, ultrapassaram a temperatura ótima para desenvolvimento na fase IP-R1, a qual varia de 25 a 30 °C (Campos & Steinmetz, 2001). Essa hipótese tem suporte nos resultados apresentados nas Figuras 3a e 3b, onde verifica-se que a temperatura do solo não alagado foi superior à do solo alagado e à da temperatura do ar no início de perfilhamento. Essa também é a hipótese para explicar o maior filocrono (menor taxa de desenvolvimento foliar) no solo não alagado (Tabela 2), em que grande parte da emissão de folhas ocorre durante a fase IP-R1. A maior duração da fase IP-R1 e o maior filocrono no solo não-alagado indicam forte efeito da condição hídrica no solo sobre o desenvolvimento vegetativo do arroz.

A duração das fases EM-IP, R1-R2, R2-R4 e R4-R9 foi semelhante entre os ambientes de solo (Figura 2). Na fase EM-IP ainda não havia o efeito da diferença de condição hídrica do solo, já que o início da irrigação no tratamento de solo alagado foi no estágio V3 da escala de Counce *et al.* (2000), a qual ocorre próximo ao IP. As fases R1-R2, R2-R4 e R4-R9 não foram alteradas pela condição hídrica do solo, certamente porque à medida que a panícula se de-

se desenvolve e cresce, ocorre a alongação do colmo a partir de R1 e a região meristemática de desenvolvimento da planta fica acima do nível do solo e da água, e assim o desenvolvimento passa a ser influenciado muito mais pela temperatura do ar do que pela temperatura do solo e da água, uniformizando o desenvolvimento reprodutivo entre os tratamentos de manejo da água.



**Figura 2.** Duração (°C dia) das fases EM-IP, IP-R1, R1-R2, R2-R4 e R4-R9 de genótipos de arroz cultivados em ambiente de solo alagado (A1) e não alagado (A2) em três épocas de semeadura. EM = emergência, IP = início do perfilhamento, R1 = diferenciação da panícula, R2 = aparecimento do colar da folha bandeira, R4 = antese, R9 = maturação fisiológica. O comprimento total das barras indica a duração do ciclo total EM-R9.



**Figura 3.** Temperatura do solo a 5 cm de profundidade nos tratamentos solo alagado e solo não alagado, e temperatura do ar durante oito horas do dia 09/12/2005 (a) e temperatura do solo a 5 cm de profundidade para os tratamentos de solo alagado, não alagado e temperatura média do ar, no período de 10/12/2005 a 22/12/2005 (b).

## CONCLUSÕES

O crescimento e o desenvolvimento das plantas de arroz são relacionados com a interação entre as fontes de variação ambiente de solo, genótipos e época de semeadura.

O arroz cultivado em ambiente de solo não-alagado apresenta redução no crescimento e desenvolvimento vegetativo, com menor crescimento das folhas, menor velocidade de emissão de folhas e duração mais longa da fase início do perfilhamento até a diferenciação da panícula.

O desenvolvimento reprodutivo a partir da diferenciação da panícula é similar quando o arroz é cultivado em ambiente alagados e não-alagado.

## AGRADECIMENTOS

Aos revisores *Ad Hoc*, pelas valiosas sugestões e comentários em versões anteriores do manuscrito; e ao Conselho de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelas bolsas (bolsas de Doutorado e bolsa de Produtividade em Pesquisa).

## REFERÊNCIAS

- Ancielo AG, Toescher, CF; Köpp LM & Coletto LS (2005) Produtividade das cultivares de arroz desenvolvidas para Terras Altas e das desenvolvidas para inundação, quando irrigadas por aspersão, em Uruguaiana, RS. In: Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, Santa Maria. Anais, Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. p.340-341.
- Campos CRJ & Steinmetz SC (2001) Aspectos sinóticos da ocorrência de temperaturas baixas durante a fase reprodutiva do arroz irrigado na região sul do Rio Grande do Sul: Estudo de casos. Pesquisa Agropecuária Gaúcha, 4:121-133.
- Counce P, Keisling TC & Mitchell AJ (2000) A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. Crop Science, 40:436-443.
- Crusciol CAC, Arf O, Soratto RP, Rodrigues RAF & Machado JR (2003) Manejo de irrigação por aspersão com base no "kc" e adubação mineral na cultura de arroz de Terras Altas. Bragantia, 62:465-475.
- Cruz CD & Regazzi AJ (1997) Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Viçosa, Editora UFV. 390p.
- Embrapa (2003) Embrapa testa variedades de arroz de sequeiro no RS. Disponível em: <<http://www.cnpaf.embrapa.br/arroz/index.htm>> Acessado em: 05 setembro 2005.
- Embrapa (2006) Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos/Embrapa Solos. 306p.
- Ferreira ME, Yamada T & Malavolta E (1983) A cultura do arroz de sequeiro. In: Ferreira ME, Yamada T & Malavolta E (Eds.) Fisiologia do Arroz. Piracicaba, Instituto da Potassa e Fosfato. p.77-90.
- Ferreira CM, Pinheiro BS, Sousa ISF & Morais OP (2005) Qualidade do arroz no Brasil: Evolução e padronização. Goiânia, Embrapa Arroz e Feijão. 61p.
- Gilmore EC & Rogers JS (1958) Heat units as a method of measuring maturity in corn. Agronomy Journal, 50:611-615.
- Guimarães CM, Fageria NK & Barbosa Filho MP (2002) Como a planta de arroz se desenvolve. Piracicaba, Informações Agronômicas do Arquivo do Agrônomo – POTAFOS, 99:1-12. (Encarte).
- Haun JR (1973) Visual quantification of wheat development. Agronomy Journal, 65:116-119.
- Infeld JA, Silva JB & Assis FN (1998) Temperatura base e duração durante o período vegetativo de três grupos de genótipos de arroz irrigado. Revista Brasileira de Agrometeorologia, 6:187-191.
- Kijne JW (2006) Abiotic stress and water scarcity: Identifying and resolving conflicts from plant level to global level. Field Crops Research, 97:3-18.
- Lafitte HR, Bennett J & Tuong TP (2006) Preparing rice for a water-limited future: From molecular to regional scale. Field Crops Research, 97:1-2.
- Lopes SJG, Volkweiss SJ & Tedesco MJ (1994) Desenvolvimento do sistema radicular do arroz irrigado. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 18:273-278.
- Marques JBB, Flores JAM & Saucedo IS (2003) Desempenho de cultivares de arroz de sequeiro em duas densidades de semeadura em Uruguaiana, RS. In: Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, Itajaí. Anais, EPAGRI. p.241-243.
- Medeiros SLP (1998) Avaliação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região mesoclimática de Santa Maria-RS. Revista Brasileira de Agrometeorologia, 6:105-109.
- Ni H, Moody K, Robles RP, Paller EC & Lales JS (2000) *Oryza sativa* plant traits conferring competitive ability against weeds. Weed Science, 48:200-204.
- Pinheiro BS (2005) Arroz de Terras Altas: um salto de qualidade no Centro-Oeste do Brasil. Embrapa Arroz e Feijão. Disponível em: <<http://www.arroz.agr.br/site/artigos/020917.php>> Acessado em: 08 de setembro de 2005.
- Pinheiro BS, Castro ES & Guimarães CM (2006) Sustainability and profitability of aerobic rice production in Brazil. Field Crops Research, 97:34-42.
- SOSBAI (Sociedade Sul Brasileira de Arroz irrigado) (2005) Arroz irrigado: Recomendações técnicas para o sul do Brasil. Santa Maria, SOSBAI. 159p.
- Streck NA, Bosco LC, Menezes NL, Garcia DC, Alberto CM & Lago I (2005) Estimativa do filocrono em genótipos de trigo de primavera. Revista Brasileira de Agrometeorologia, 13:423-429.
- Streck NA, Michelon S, Bosco LC, Walter LC & Marcolin E (2006) Duração do ciclo de desenvolvimento de genótipos de arroz em função da emissão de folhas no colmo principal. Ciência Rural, 36:1086-1093.
- Tivet F, Pinheiro BS, Raissac M & Dingkuhn M (2001) Leaf blade dimensions of rice (*Oryza sativa* L. and *Oryza sativa* glaberrima Steud.) relationships between tillers and the main stem. Annals of Botany, 88:507-511.
- Toescher CF & Köpp LM (2002) Produtividade do arroz sob irrigação por aspersão, em Uruguaiana-RS. In: Congresso da Cadeia Produtiva de Arroz, Florianópolis. Anais, Embrapa Arroz e Feijão. p.405-406.
- Toescher CF, Köpp LM & Lima AL (2003) Arroz irrigado por aspersão em Uruguaiana-RS. In: Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, Itajaí. Anais, EPAGRI. p.238-240.
- Washio O (1993) Morphological studies on the upland – cultivated rice. In: Matsuo T & Hoshikawa K (Eds). Science of the Rice Plant: Morphology. Tokyo, Food and Agriculture Policy Research Center, 1:564-567.
- Wilhelm WW & McMaster GS (1995) Importance of the phyllochron in studying development and growth in grasses. Crop Science, 35:1-3.
- Xue Q, Weiss A & Baenziger PS (2004) Predicting leaf appearance in field grown winter wheat: evaluating linear and non-linear models. Ecological Modelling, 175:261-270.