

Fatores abióticos sobre o efeito de herbicidas na qualidade fisiológica de sementes de arroz¹

Abiotic factors in the effect of herbicides on the physiological quality of rice seeds

Eduardo Venske^{2*}, Carlos Eduardo Schaedler³, Carlos André Bahry⁴, Thais Ongaratto de Camargo⁵ e Paulo Dejalma Zimmer⁵

RESUMO - O objetivo neste trabalho foi avaliar a qualidade fisiológica de sementes de arroz em função da aplicação de herbicidas em duas épocas de semeadura e redução artificial de luz em diferentes fases do desenvolvimento da cultura. O experimento a campo, realizado na safra 2012/2013, constou de fatorial 2x3x5, sendo os fatores: época de semeadura (18/10 e 09/11); herbicida [testemunha (capinada), bispiribaque sódico e penoxsulam]; e fase do desenvolvimento da cultura sob redução de luz (testemunha; fase de plântula; período vegetativo; reprodutivo e todo o ciclo). A cultivar utilizada foi IRGA 424. Em laboratório, foi avaliado o peso de mil sementes, germinação, primeira contagem da germinação, teste de frio, condutividade elétrica e comprimento e massa da matéria seca da parte aérea e de raízes de plântulas. A semeadura mais tardia causa a produção de sementes de arroz com menor massa e qualidade fisiológica. A aplicação de bispiribaque sódico sobre o arroz semeado mais tardiamente, leva à redução do vigor das sementes produzidas. Com a redução artificial da luminosidade durante o período vegetativo, obtêm-se sementes de arroz com maior massa e qualidade fisiológica, já quando ocorre redução de luz por todo o ciclo da cultura, são produzidas sementes de pior qualidade.

Palavras-chave: Temperatura. Luz. Bispiribaque sódico. Penoxsulam. Vigor de sementes.

ABSTRACT - The aim of this study was to evaluate the physiological quality of rice seeds with the application of herbicides in two sowing seasons, and for the artificial reduction of lighting at different stages of crop development. The field experiment, carried out in the 2012/2013 crop year, consisted of a 2x3x5 factorial, comprising the factors: sowing season (18/10 and 09/11); herbicide [control (weeding), bispyribac-sodium and penoxsulam]; and crop development phase under light reduction (control; seedling stage, vegetative phase, reproductive phase and the entire cycle). The cultivar used was IRGA 424. The following were evaluated in the laboratory: thousand-seed weight, germination, first germination count, cold test, electrical conductivity and the length and weight of seedling shoot and root dry matter. Late sowing results in the production of rice seeds of lower weight and physiological quality. The application of sodium-bispyribac on the rice that was sown later, leads to a reduction in the vigour of the produced seeds. With reductions in artificial lighting during the vegetative phase, rice seeds with greater mass and physiological quality are obtained, whereas when the lighting is reduced for the entire crop cycle, poor quality seeds are produced.

Key words: Temperature. Light. Bispyribac-sodium. Penoxsulam. Seed vigour.

DOI: 10.5935/1806-6690.20150070

* Autor para correspondência

¹Recebido para publicação em 02/07/2014; aprovado em 30/07/2015

Pesquisa financiada pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico/ CNPq, através da concessão de bolsa de doutorado ao primeiro autor

²Departamento de Fitotecnia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Campus Universitário do Capão do Leão, Caixa Postal 354, Pelotas-RS, Brasil, 96.010-900, eduardo.venske@yahoo.com.br

³Curso de Agronomia, Universidade Federal do Pampa, Itaquí-RS, Brasil, caduschaedler@yahoo.com.br

⁴Curso de Agronomia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos-PR, Brasil, carlosbahry@utfpr.edu.br

⁵Departamento de Fitotecnia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas-RS, Brasil, thaisongaratto@hotmail.com, dejalma@msn.com

INTRODUÇÃO

A utilização de herbicidas é, atualmente, o principal método para controle de plantas daninhas na cultura do arroz irrigado, em função da sua praticidade e eficiência (SOSBAI, 2012), porém, um dos inconvenientes da aplicação de herbicidas é a possibilidade de estes causarem toxicidade à cultura.

A fitotoxicidade causada por herbicidas pode implicar em redução na produtividade (PETTER; ZUFFO; PACHECO, 2011), e também, dependendo de uma série de fatores, como as condições meteorológicas, prejuízos à qualidade fisiológica das sementes colhidas. Isto foi recentemente observado para braquiárias (MARTINS *et al.*, 2007) e soja (ALBRECHT *et al.*, 2012), porém, não constatado para sorgo granífero (MARTINS; NAKAGAWA; MARTINS, 2006), capim-colônio (TRIGUEIRO *et al.*, 2007) e, novamente braquiárias, mas com outros herbicidas (RODRIGUES-COSTA *et al.*, 2011), em experimentos com diferentes classes de herbicidas.

Em arroz, apesar da importância da cultura, somente um trabalho de considerável relevância foi encontrado (MACHADO *et al.*, 2006), no qual não se observou efeito significativo de herbicidas sobre a germinação ou vigor de sementes. Entretanto, deve ser destacado que, no referido trabalho, não foi avaliado o efeito de outros fatores ambientais interagindo com herbicidas sobre a qualidade das sementes colhidas.

Entre os herbicidas registrados para o arroz irrigado se destacam os inibidores da acetolactato sintase (ALS) (SOSBAI, 2012), enzima que participa da biossíntese dos aminoácidos de cadeia ramificada, valina, leucina e isoleucina (CHIPMAN; BARAK; SCHLOSS, 1998).

Acredita-se que a maior ou menor seletividade de herbicidas inibidores da ALS ao arroz pode variar em função de uma série de condições do ambiente, tais como temperatura e luminosidade. Isto se justifica após observação, em lavouras arroteiras da região da Campanha e Sul do RS, de plantas que, submetidas a condições de frio após a aplicação dos herbicidas, apresentaram elevada toxicidade. No campo, a ocorrência de baixas temperaturas pode coincidir com períodos nebulosos, e o predomínio destas condições ambientais, em cada fase do desenvolvimento das plantas, para um mesmo local e cultivar, é dependente, basicamente, da época de semeadura adotada.

Baixas temperaturas causam diminuição da fluidez de membranas, proporcionando decréscimo na taxa metabólica da planta e prejudicando a atividade de enzimas associadas a estas (MURATA; LOS, 1997), como as citocromo P450 monooxigenases, o que, de

certa forma, pode justificar o observado nas lavouras gaúchas. De modo similar, Vila-Aiub *et al.* (2012) verificaram que a resistência de algumas espécies de plantas daninhas ao glifosato é diminuída sob temperaturas mais baixas. Ainda está pouco esclarecido se há interação entre temperatura e luminosidade sobre a metabolização dos herbicidas inibidores da ALS, e se a lenta metabolização destes tem reflexo na qualidade fisiológica de sementes em arroz.

O objetivo neste trabalho foi avaliar a qualidade fisiológica de sementes de arroz em função da aplicação de herbicidas em duas épocas de semeadura e redução artificial de luminosidade em diferentes fases do desenvolvimento da cultura.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado a campo, em área de várzea do Centro Agropecuário da Palma (CAP) - UFPel, Capão do Leão - RS, safra 2012/2013 e no Laboratório Didático de Análise de Sementes Flávio Farias Rocha do Departamento de Fitotecnia, FAEM - UFPel. O experimento foi arranjado em esquema fatorial 2x3x5, sendo o primeiro fator época de semeadura, representadas e doravante mencionadas pelas datas: 18 de outubro e 09 de novembro (18/10 e 09/11); o segundo fator foi aplicação de herbicidas: testemunha (capinada), bispiribaque sódico e penoxsulam e, por fim, o terceiro fator foi fase do desenvolvimento da cultura sob redução da luminosidade: testemunha; fase de plântula (considerado da semeadura ao estágio V4); período vegetativo (de V4 a R0); período reprodutivo (de R0 até a colheita) e todo o ciclo (foi considerado desde a semeadura à colheita), de acordo com a escala fenológica proposta por Counce, Keisling e Mitchell (2000). A cultivar de arroz irrigado utilizada foi IRGA 424.

As datas de semeadura corresponderam, aproximadamente, ao começo e ao fim do período recomendado para cultivares de ciclo médio no sul do RS, de acordo com o Zoneamento Agroclimatológico (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2007). A caracterização dos tratamentos de época de semeadura foi feita com base nas variáveis meteorológicas: temperatura média, mínima média e máxima média do ar, dias com temperatura mínima ≤ 15 °C, dias com temperatura máxima ≥ 30 °C e radiação solar global média, em cada uma das fases de desenvolvimento estudadas (Tabela 1), sendo que foram utilizados os dados da Estação Agroclimatológica de Pelotas, localizada a, aproximadamente, 08 quilômetros do local do experimento.

Tabela 1 - Dados meteorológicos médios ocorridos em cada fase do desenvolvimento da cultivar de arroz irrigado IRGA 424, em função de época de semeadura, representadas pelas datas

Fase do desenvolvimento	Variável ¹	Data de semeadura	
		18/10	09/11
Plântula (S0-V4)	Duração (dias) / intervalo	26 / (18/10-12/11)	20 / (09/11-28/11)
	TA (°C)	20,55	20,82
	Tm (°C)	16,27	16,75
	DT _{≤15} °C	9	6
	TM (°C)	26,08	26,34
	DT _{≥30} °C	4	2
	RS (cal cm ⁻² dia ⁻¹)	456,0	476,9
Vegetativa	Duração (dias) / intervalo	48 / (13/11-30/12)	46 / (29/11-13/01)
	TA (°C)	22,57	23,08
	Tm (°C)	17,81	18,33
	DT _{≤15} °C	9	7
	TM (°C)	28,19	28,53
	DT _{≥30} °C	12	13
	RS (cal cm ⁻² dia ⁻¹)	504,4	507,7
Reprodutiva	Duração (dias) / intervalo	70 / (31/12-10/03)	84 / (14/01-07/04)
	TA (°C)	22,46	21,51
	Tm (°C)	18,09	17,15
	DT _{≤15} °C	14	25
	TM (°C)	27,86	26,99
	DT _{≥30} °C	14	13
	RS (cal cm ⁻² dia ⁻¹)	493,4	441,0

¹Duração em dias; temperatura média (TA) e mínima média (Tm) do ar, número de dias com temperatura mínima do ar ≤ 15 °C (DT_{≤15} °C), temperatura máxima média do ar (TM), número de dias com temperatura máxima do ar ≥ 30 °C (DT_{≥30} °C) e radiação solar global média (RS)

As aplicações dos herbicidas foram realizadas quando as plantas estavam no estágio V4. Para bispiribaque sódico, a dose foi de 50 gramas de ingrediente ativo por hectare (g i.a. ha⁻¹) (corresponde a 125 mL de produto comercial Nominee® 400 SC ha⁻¹) e para penoxsulam foi de 60 g i.a. ha⁻¹ (250 mL de produto comercial Ricer® ha⁻¹), o que representa, para ambos herbicidas, o limite superior da faixa recomendada (SOSBAI, 2012). As aplicações foram realizadas no fim do dia, com pulverizador costal propelido a CO₂ (pressão de 2 bar), utilizando-se barra com quatro pontas de pulverização tipo leque, espaçadas 0,50 m, e com volume de calda ajustado para 150 L ha⁻¹, sendo adicionado à calda de penoxsulam, adjuvante Veget oil®, na dose de 1,0 L ha⁻¹. Capinas manuais foram realizadas regularmente, além de uma aplicação de Cyalofop, na dose de 266 g i.a. ha⁻¹ (1,75 L de produto comercial Clincher® ha⁻¹), aproximadamente 30 dias após a aplicação dos demais herbicidas, visando manter as parcelas sem a presença de plantas daninhas.

Foi atenuado 70% da irradiação solar nas diferentes fases do desenvolvimento da cultura, sendo que para tanto, malhas específicas foram aferidas com radiômetro portátil *Li-cor*, inc. modelo LI-185B, estendendo-as sobre arcos de metal, moldados de modo a formar um túnel sobre a faixa de cultura. Realizaram-se leituras de temperatura dentro desses túneis, em diferentes condições climáticas, e observou-se redução média de temperatura de 0,8 °C devido à tela.

Visando viabilizar a instalação, tendo em vista a natureza dos fatores, o experimento foi implantado em esquema, de modo que, época de semeadura e fase sob redução de luminosidade foram dispostos em faixas (o segundo destes dentro do primeiro), e o fator herbicida, inteiramente casualizado, dentro de cada faixa de fase sob redução de luz. As parcelas consistiram de 9 linhas espaçadas 0,17 m, com comprimento de 2,0 m. Foram feitas quatro repetições, totalizando 120 unidades

experimentais. Foi avaliada a população de plantas aos 20 dias após a semeadura, nas duas épocas e nos ambientes com e sem redução de luz e não houve diferença estatística entre épocas, sendo a população média do experimento de 340 plantas por metro quadrado. Os tratamentos fitotécnicos e fitossanitários seguiram as recomendações técnicas para a cultura do arroz irrigado no sul do Brasil, visando alta produtividade (SOSBAI, 2012).

A partir do estágio R8, monitorou-se a umidade das sementes por coletas de panículas e determinação pelo método de estufa a 105 °C (BRASIL, 2009) e quando estas atingiram aproximadamente 25% de umidade, coletou-se 25 panículas por parcela, as quais foram secas até uniformizar a umidade entre as parcelas em torno de 11%, trilhadas e beneficiadas manualmente e em soprador South Dakota. As sementes foram submetidas às seguintes avaliações: peso de mil sementes, germinação, primeira contagem da germinação (BRASIL, 2009), teste de frio, condutividade elétrica com três e 24 horas de embebição (TELÓ *et al.*, 2012, com adaptações quanto ao volume de água – 80 mL, e temperatura – 20 °C) e comprimento e massa da matéria seca de parte aérea e de raízes de plântulas. Os testes foram instalados em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. Os dados de germinação e teste de frio foram transformados pela equação $x = \sqrt{x} + 0,5$, visando garantir o ajuste à distribuição normal (nas tabelas são apresentados os dados sem transformação). Realizou-se a análise de variância pelo teste F ($p \leq 0,05$) e teste de médias de DMS de Fischer ($p \leq 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve interação entre os três fatores para nenhuma das variáveis analisadas, assim como entre herbicida e fase do desenvolvimento sob redução de luz. Os testes de frio e condutividade elétrica com 3h e 24h de embebição apresentaram interação entre época de semeadura e herbicida. Para peso de mil sementes, teste de frio, condutividade elétrica com três e 24 horas de embebição, comprimento de parte aérea e de raiz e massa da matéria seca da parte aérea e de raízes de plântulas, houve interação entre época de semeadura e fase do desenvolvimento sob redução de luz. Todos os testes apresentaram diferença significativa entre épocas de semeadura; não se verificou efeito significativo isolado de herbicida, para fases do desenvolvimento sob redução de luz, somente primeira contagem da germinação, comprimento e massa da matéria seca da parte aérea de plântulas não foram significativos (Tabela 2).

A semeadura realizada tardiamente, em 09/11, causou redução na qualidade de sementes, dado pelos menores valores de peso de mil sementes, germinação, primeira contagem da germinação, teste de frio e comprimento e massa da matéria seca da parte aérea e de raízes de plântulas, e maiores valores de condutividade elétrica (Tabelas 3; 4 e 5). Entre as variáveis meteorológicas, a que mais se destacou e parece justificar a menor qualidade das sementes em função da semeadura mais tardia foi a radiação solar durante o período reprodutivo, que foi menor para as plantas semeadas nesta época (Tabela 1).

Tabela 2 - Resumo da análise de variância das avaliações de qualidade de sementes da cultivar de arroz irrigado IRGA 424 em função de época de semeadura, herbicida e redução da luminosidade em diferentes fases do desenvolvimento

F.V.	G.L.	Quadrado médio									
		PMS	G	PCG	TF	CE 3H	CE 24H	CPA	CR	MSPA	MSR
E	1	114,79*	0,9573*	11646,64*	2,881*	270,22*	251,99*	34,970*	72,66*	0,000561*	0,000598*
H	2	0,25 ^{ns}	0,0121 ^{ns}	18,58 ^{ns}	0,030 ^{ns}	2,52 ^{ns}	4,35 ^{ns}	0,008 ^{ns}	5,76 ^{ns}	0,000001 ^{ns}	0,000015 ^{ns}
L	4	19,18*	0,0624*	36,95 ^{ns}	0,178*	34,75*	45,81*	0,448 ^{ns}	23,96*	0,000026 ^{ns}	0,000037*
E*H	2	0,12 ^{ns}	0,0143 ^{ns}	31,11 ^{ns}	0,067*	10,88*	19,30*	0,009 ^{ns}	0,51 ^{ns}	0,000000 ^{ns}	0,000006 ^{ns}
E*L	4	1,42*	0,0155 ^{ns}	97,53 ^{ns}	0,110*	211,77*	320,51*	2,419*	38,98*	0,000086*	0,000045*
H*L	8	0,14 ^{ns}	0,0156 ^{ns}	114,03 ^{ns}	0,022 ^{ns}	2,11 ^{ns}	2,53 ^{ns}	0,110 ^{ns}	0,94 ^{ns}	0,000003 ^{ns}	0,000005 ^{ns}
E*H*L	8	0,06 ^{ns}	0,0064 ^{ns}	16,65 ^{ns}	0,020 ^{ns}	2,51 ^{ns}	6,20 ^{ns}	0,114 ^{ns}	1,17 ^{ns}	0,000006 ^{ns}	0,000001 ^{ns}
Resíduo	90	0,19	0,0098	98,65	0,015	1,67	3,33	0,328	3,73	0,000014	0,000009
CV (%)	119	1,8	1,0	13,8	1,2	11,2	9,5	15,6	19,7	18,3	21,0

F.V. - Fonte de variação; E - Época de semeadura; H - Herbicida; L - Fase do ciclo sob redução de luz; C.V. - Coeficiente de variação; G.L. - Graus de liberdade; PMS - Peso de mil sementes (g); G - Germinação (%); PCG - Primeira Contagem da Germinação (%); TF - Teste de frio (%); CE 3H - Condutividade elétrica com três horas de embebição ($\mu\text{S m}^{-1} \text{g}^{-1}$); CE 24H - Condutividade elétrica com vinte e quatro horas de embebição ($\mu\text{S m}^{-1} \text{g}^{-1}$); CPA - Comprimento de parte aérea de plântulas (cm pl^{-1}); CR - Comprimento de raiz principal de plântulas (cm pl^{-1}); MSPA - Massa da matéria seca da parte aérea (mg pl^{-1}); MSR - Massa da matéria seca de raízes (mg pl^{-1}); ^{ns} - não significativo, * - significativo a 5% pelo teste F

Tabela 3 - Germinação (G), primeira contagem da germinação (PCG), teste de frio (TF) e condutividade elétrica com 3 (C.E. 3h) e 24 horas (C.E. 24h) de embebição, em função de época de semeadura e herbicida, de sementes da cultivar de arroz irrigado IRGA 424

Herbicida	G (%)		PCG (%)		TF (%)		C.E. 3h ($\mu\text{Sm}^{-1} \text{g}^{-1}$)		C.E. 24h ($\mu\text{Sm}^{-1} \text{g}^{-1}$)	
	18/10	09/11	18/10	09/11	18/10	09/11	18/10	09/11	18/10	09/11
Testemunha	98,4 ^{ns}	94,3	81,5 ^{ns}	63,6	97,9* Aa	91,5 Ba	10,2 Ba	12,3 Ab	17,9 Ba	19,7 Ab
B. Sódico	97,7	93,9	81,9	60,5	97,3 Aab	90,0 Bb	9,7 Ba	13,9 Aa	17,2 Ba	21,7 Aa
Penoxsulam	97,7	95,0	81,8	62,0	96,3 Ab	92,0 Ba	10,1 Ba	12,9 Ab	17,8 Ba	20,4 Ab
Média	97,9 ^y A	94,4 B	81,8 A	62,0 B	97,2 A	91,2 B	10,0 B	13,0 A	17,7 B	20,6 A
Média geral	96,2		71,9		94,2		11,5		19,1	

^{ns}Não detectou-se significância de herbicida pelo teste F ($p \leq 0,05$); *Médias seguidas de letras maiúsculas comparadas nas linhas e de minúsculas nas colunas, quando distintas, dentro de cada variável, diferem entre si pelo teste DMS de Fisher ($p \leq 0,05$) ^you pelo teste F ($p \leq 0,05$)

Tabela 4 - Peso de mil sementes (PMS), teste de frio (TF) e condutividade elétrica, com três (C.E. 3h) e 24 horas (C.E. 24h) de embebição, em função de época de semeadura e fase do desenvolvimento sob redução de luz, e germinação (G), em função de fase do desenvolvimento sob redução de luz, de sementes da cultivar de arroz irrigado IRGA 424

Fase sob sombreamento	PMS (gramas)		G (%)	TF (%)		C.E. 3h ($\mu\text{S m}^{-1} \text{g}^{-1}$)		C.E. 24h ($\mu\text{S m}^{-1} \text{g}^{-1}$)	
	18/10	09/11		18/10	09/11	18/10	09/11	18/10	09/11
Testemunha	25,9* Ab	23,9 Bb	95,5 c	97,2 Aa	92,2 Bb	9,8 Bc	15,7 Aa	17,3 Bc	23,6 Aa
Plântula	26,3 Aa	23,8 Bb	96,9 ab	96,8 Aa	93,2 Bab	7,8 Bd	15,8 Aa	14,5 Bd	23,7 Aa
Vegetativo	26,5 Aa	24,5 Ba	97,5 a	98,1 Aa	94,2 Ba	6,9 Bd	14,8 Aa	13,9 Bd	22,8 Aa
Reprodutivo	24,1 Ad	22,9 Bc	95,9 bc	97,2 Aa	88,4 Bc	14,7 Aa	10,1 Bb	23,6 Aa	17,2 Bb
Todo ciclo	24,8 Ac	22,6 Bc	95,0 c	96,5 Aa	87,8 Bc	10,9 Ab	8,7 Bc	19,0 Ab	15,5 Bc
Média	25,5 ^y A	23,5 B	96,2	97,2 A	91,2 B	10,0 B	13,0 A	17,7 B	20,6 A
Média geral	24,5		96,2	94,2		11,5		19,1	

Médias seguidas de letras maiúsculas comparadas nas linhas e de minúsculas nas colunas, quando distintas, dentro de cada variável, diferem entre si pelo teste DMS de Fisher ($p \leq 0,05$) ^you pelo teste F ($p \leq 0,05$)

Tabela 5 - Comprimento de parte aérea (CPA) e de raiz (CR) e massa da matéria seca da parte aérea (MSPA) e de raízes (MSR) de plântulas em função de época de semeadura e fase do desenvolvimento sob redução de luz, de sementes da cultivar de arroz irrigado IRGA 424

Fase sob sombreamento	CPA (cm pl^{-1})		CR (cm pl^{-1})		MSPA (mg pl^{-1})		MSR (mg pl^{-1})	
	18/10	09/11	18/10	09/11	18/10	09/11	18/10	09/11
Testemunha	4,0* Ab	3,3 Ba	10,0 Aa	10,7 Aa	21 Aa	19 Aa	15 Aa	14 Aa
Plântula	4,3 Aab	3,2 Ba	11,1 Aa	9,5 Ba	23 Aa	19 Ba	17 Aa	13 Ba
Vegetativo	4,0 Ab	3,3 Ba	10,7 Aa	9,5 Aa	21 Aa	19 Aa	17 Aa	12 Ba
Reprodutivo	4,2 Aab	3,4 Ba	10,2 Aa	10,3 Aa	23 Aa	21 Aa	17 Aa	13 Ba
Todo Ciclo	4,5 Aa	2,4 Bb	10,9 Aa	5,1 Bb	24 Aa	13 Bb	16 Aa	8 Bb
Média	4,2 ^y A	3,1 B	10,6 A	9,0 B	23 A	18 B	16 A	12 B
Média geral	3,7		9,8		20		14	

*Médias seguidas de letras maiúsculas comparadas nas linhas e de minúsculas nas colunas, quando distintas, dentro de cada variável, diferem entre si pelo teste DMS de Fisher ($p \leq 0,05$) ^you pelo teste F ($p \leq 0,05$)

De fato, as recomendações técnicas para a cultura no sul do Brasil (SOSBAI, 2012) enfatizam que as sementeiras tardias devem ser evitadas, pois os níveis de radiação solar durante o período reprodutivo tendem a ser menores à medida que a data de sementeira é atrasada, e o peso de sementes, ou grãos, é um dos componentes mais afetados pela disponibilidade de radiação solar neste período. Neste sentido, realmente houve menor peso de mil sementes na sementeira em 09/11, o que pode significar que a formação e, principalmente, o enchimento da semente, foi prejudicado pela menor fotossíntese realizada durante este período crítico (ZIMMER, 2012), afetando a qualidade fisiológica das sementes.

O atraso na sementeira do arroz também predispõe mais as plantas às doenças durante o período em que as sementes estão sendo formadas, podendo afetar a sanidade destas, diminuir ainda a eficiência de uso de nitrogênio, sendo alocado menos deste nutriente nas sementes, além de levar à perda de produtividade por afetar também outros de seus componentes (FREITAS *et al.*, 2008; SARTORI *et al.*, 2013).

Penoxsulam, na sementeira em 18/10, causou menor média no teste de frio comparado à testemunha, entretanto não diferiu de bispiribaque sódico e sua média ainda pode ser considerada alta para teste de vigor (Tabela 3). Por outro lado, bispiribaque sódico aplicado no arroz semeado em 09/11 causou tanto menor número de plântulas normais no teste de frio, como maior condutividade elétrica, diferindo da testemunha e de penoxsulam, sugerindo ter causado maiores prejuízos à qualidade das sementes.

Os efeitos de bispiribaque sódico e penoxsulam sobre a cultura do arroz variam na literatura. Os sintomas visuais de fitotoxicidade e o prejuízo ao sistema de raízes e parte aérea das plantas algumas semanas após a aplicação foram verificados para ambos os herbicidas, por vezes afetando, outras não, alguns componentes ou a própria produtividade, mas quase sempre com forte dependência dos outros fatores relacionados, seja das doses utilizadas, épocas de aplicação, cultivares ou manejos adotados (BOND *et al.*, 2007; CONCENÇO *et al.*, 2007; PETTER *et al.*, 2012; PETTER; ZUFFO; PACHECO, 2011; WILLINGHAM *et al.*, 2008). A produtividade da cultura do arroz pode ser afetada em diversos momentos, isto é, nos estádios de desenvolvimento em que cada um dos seus componentes está sendo definido; um estresse pode comprometer-lo, podendo reduzir o volume final de sementes colhido. Já a qualidade das sementes, muitas vezes não está correlacionada com a produtividade, principalmente porque para que ocorram prejuízos de forma direta na qualidade das sementes, os fatores adversos devem acontecer em um intervalo de tempo menor, naquele que de fato compreende a formação da semente.

Entretanto, fatores abióticos também podem afetar a qualidade das sementes de forma indireta, quando o estresse ocorrido sobre o desenvolvimento vegetativo vem, posteriormente, a prejudicar a formação da semente (ZIMMER, 2012). Para o caso deste estudo, em que a aplicação dos herbicidas é temporalmente distante do período reprodutivo, a redução de vigor das sementes devido à aplicação de bispiribaque sódico na sementeira em 09/11 pode estar associada a problemas no desenvolvimento vegetativo causado por este herbicida, que possivelmente também ocorreram para a primeira época, mas que foram agravados pela condição desfavorável no período reprodutivo para a sementeira mais tardia, isto é, mesmo que para a sementeira em 18/10 tenha ocorrido redução em desenvolvimento, até em aparato fotossintético, devido ao estresse pelo herbicida, as condições de temperatura e radiação solar podem ter compensado, de certa forma, este prejuízo no desenvolvimento, não ocorrendo o mesmo para a sementeira tardia, o que pode ter prejudicado a síntese e o transporte de fotoassimilados para as sementes (ZIMMER, 2012), prejudicando o vigor.

Os herbicidas inibidores da enzima ALS são inicialmente metabolizados nas plantas via citocromo P450 monooxigenases (SIMINSZKY, 2006; YASUOR *et al.*, 2009), que transformam a molécula em um metabólito de baixa fitotoxicidade, ou atóxico, às plantas, e posteriormente, esses produtos podem sofrer modificações através de conjugações com glicose e glutatona, os quais são compartimentalizados em vacúolos e/ou incorporados às paredes celulares (VAN EERD *et al.*, 2003). Entre as hipóteses do trabalho tinha-se que, sob temperaturas baixas, a metabolização dos herbicidas seria mais lenta, levando à fitotoxicidade, podendo comprometer a qualidade das sementes. Entretanto, as diferenças de temperatura entre as épocas não foram muito elevadas (Tabela 1), o que pode ter minimizado este efeito. Vila-Aiub *et al.* (2012) verificaram que a resistência de algumas espécies de plantas daninhas ao glifosato é diminuída sob temperaturas mais baixas, porém, 11 °C abaixo da temperatura ótima.

No estudo de Machado *et al.* (2006), avaliando o efeito do residual da aplicação de herbicidas, inclusive de bispiribaque sódico, sobre a qualidade fisiológica de sementes de arroz, o efeito dos herbicidas não foi significativo sobre a primeira contagem da germinação e germinação das sementes, corroborando com os resultados deste estudo. Entretanto, os autores não observaram diferença entre herbicidas para teste de frio e condutividade elétrica, o que diverge dos resultados aqui observados. Esses autores realizaram a sementeira do arroz na mesma região do Rio Grande do Sul e no mesmo mês (novembro) em que se constatou, no presente estudo, o efeito de bispiribaque sódico sobre o vigor das sementes, porém, deve ser observado que as condições meteorológicas a

cada safra variam e as cultivares estudadas pelos referidos autores diferem da utilizada neste trabalho, podendo também ser atribuído a isto a diferença na resposta encontrada, pois estudos evidenciaram contraste genético importante para a tolerância do arroz à bispiribaque sódico (CONCENÇO *et al.*, 2007; WILLINGHAM *et al.*, 2008).

Os testes de condutividade elétrica e, sobretudo, de frio são considerados eficientes para avaliar vigor em sementes de muitas espécies; o primeiro por buscar um indicativo da deterioração das sementes no seu estágio inicial, medindo indiretamente a integridade do sistema de membranas celulares da semente (BIAGGIONI; BARROS, 2006) e o segundo por ser capaz de estratificar diferentes lotes de sementes e se correlacionar positivamente com a emergência a campo, para arroz (MENEZES; SILVEIRA, 1995). Essa alta sensibilidade pode explicar porque somente estes testes detectaram efeito negativo dos herbicidas sobre a qualidade fisiológica das sementes.

Sob redução de luz, durante o período vegetativo, observou-se maior peso de mil sementes e germinação, e ainda maior número de plântulas normais no teste de frio na semeadura em 09/11 e na de 18/10, menor condutividade elétrica (Tabela 4), demonstrando ser favorável à qualidade das sementes. Isto pode ser justificado pelos ajustes nas relações fonte-dreno das plantas, em virtude das condições ambientais. A principal resposta das plantas à condição de sombreamento durante o período vegetativo é o elevado investimento de nutrientes e fotoassimilados em crescimento. Este forte dreno pode implicar em redução, posteriormente, no número de sementes por planta, mas permite que seja alocada maior quantidade de fotoassimilados por semente, aumentando sua massa e influenciando, inclusive, a composição química e o vigor (BALIZA *et al.*, 2012), desde que o estresse ambiental seja então atenuado. Além disso, em condições de pouca luminosidade ocorre o aumento da área foliar das plantas, como medida de adequação à condição de pouca luz (MARTUSCELLO *et al.*, 2009), e maior área de tecido fotossintetizante pode permitir maior produção de fotoassimilados durante o período reprodutivo para serem enviados às sementes. Apesar da redução de luz no período vegetativo ter alterado a relação fonte-dreno em favor da produção de sementes de maior qualidade, este estresse causou redução na produtividade na ordem de 26 e 12%, respectivamente, para a semeadura em 18/10 e 09/11.

A redução de luz por todo o ciclo apresentou menores valores de germinação, peso de mil sementes e teste de frio, não diferindo da redução de luz no reprodutivo (Tabela 4) e, destacadamente, na semeadura em 09/11, menores valores de comprimento

e massa da matéria seca da parte aérea e de raízes de plântulas (Tabela 5). Já foi argumentado que a redução da luminosidade leva a menor taxa fotossintética, menor produção de carboidratos e, por consequência, menor acúmulo de reservas na semente (ZIMMER, 2012), implicando nos resultados observados. Quanto ao tratamento de redução de luz por todo o ciclo ter sido ainda mais prejudicial à qualidade das sementes na semeadura mais tardia, isto pode ser justificado pela condição ambiental menos favorável do período reprodutivo das plantas para esta época, inclusive de radiação solar (Tabela 1), que agravaram o estresse provocado pelo sombreamento artificial.

Chama a atenção que os resultados de condutividade elétrica não coincidem com os de peso de mil sementes, germinação, teste de frio e comprimento e massa de plântulas, para os efeitos da redução da luminosidade sobre a qualidade das sementes. As sementes ortodoxas possuem mecanismos de proteção ao colapso das membranas celulares quando da sua secagem, pela substituição da água por outras moléculas como açúcares não redutores e algumas proteínas (BEWLEY *et al.*, 2013). Sugere-se que a redução de luz durante o período reprodutivo tenha favorecido este processo, por permitir perda de água mais lenta, pois o sombreamento artificial pode atenuar as temperaturas mais altas, contribuindo assim com a integridade do sistema de membranas, apesar de ter comprometido o vigor de sementes de acordo com os outros testes.

CONCLUSÕES

1. A semeadura próxima ao final do período recomendado resulta em produção de sementes de arroz com menor massa e qualidade fisiológica, quando comparado àquela no início da faixa recomendada para a semeadura;
2. A aplicação de bispiribaque sódico sobre o arroz semeado mais tardiamente leva à redução do vigor das sementes produzidas;
3. Com a redução artificial da luminosidade durante o período vegetativo obtêm-se sementes de arroz com maior massa e qualidade fisiológica, já quando ocorre redução de luz por todo o ciclo da cultura, são produzidas sementes de pior qualidade.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsas de estudo.

REFERÊNCIAS

- ALBRECHT, L. P. *et al.* Glyphosate e associações em pós-emergência no desempenho agrônômico e na qualidade das sementes de soja RR. **Planta Daninha**, v. 30, n. 1, p. 139-146, 2012.
- BALIZA, D. P. *et al.* Physiological quality of coffee seeds produced under different levels of solar radiation and maturation stages. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 34, n. 3, p. 416-423, 2012.
- BEWLEY, J. D. *et al.* **Seeds: physiology of development, germination and dormancy**. 3. ed. New York: Springer, 2013. 392 p.
- BIAGGIONI, M. A. M.; BARROS, R. E. Teste de acidez graxa como índice de qualidade em arroz. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, n. 4, p. 679-684, 2006.
- BOND, J. A. *et al.* Rice cultivar response to penoxsulam. **Weed Technology**, v. 21, n. 4, p. 961-965, 2007.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 2009. 395 p.
- CHIPMAN, D.; BARAK, Z.; SCHLOSS, J. V. Biosynthesis of 2-aceto-2-hydroxy acids: acetolactate synthases and acetohydroxyacid synthases. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 1385, n. 2, p. 401-419, 1998.
- CONCENÇO, G. *et al.* Sensibilidade de plantas de arroz ao herbicida bispyribac-sodium em função de doses e locais de aplicação. **Planta Daninha**, v. 25, n. 3, p. 629-637, 2007.
- 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.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Zoneamento agroclimático do arroz irrigado por épocas de semeadura no Estado do Rio Grande do Sul (versão 4)**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2007. 37 p. (Documentos, 199).
- FREITAS, T. F. S. *et al.* Produtividade de arroz irrigado e eficiência da adubação nitrogenada influenciadas pela época da semeadura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 6, p. 2397-2405, 2008.
- MACHADO, R. F. *et al.* Reflexos do mecanismo de ação de herbicidas na qualidade fisiológica de sementes e na atividade enzimática em plântulas de arroz. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 28, n. 3, p. 151-160, 2006.
- MARTINS, C. C.; NAKAGAWA, J.; MARTINS, D. Seletividade de herbicidas sobre a produtividade e a qualidade de sementes de sorgo granífero. **Agropecuária Técnica**, v. 27, n. 1, p. 37-42, 2006.
- MARTINS, D. *et al.* Seletividade de herbicidas aplicados em pós-emergência sobre capim-braquiária. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n. 6, p. 1969-1974, 2007. Suplemento.
- MARTUSCELLO, J. A. *et al.* Produção de gramíneas do gênero *Brachiaria* sob níveis de sombreamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 7, p. 1183-1190, 2009.
- MENEZES, N. L. de; SILVEIRA, T. L. D. da. Métodos para avaliar a qualidade fisiológica de sementes de arroz. **Scientia Agricola**, v. 52, n. 2, p. 350-359, 1995.
- MURATA, N.; LOS, D. A. Membrane fluidity and temperature perception. **Plant Physiology**, v. 115, n. 3, p. 875-879, 1997.
- PETTER, F. A. *et al.* Herbicidas inibidores da ALS aplicados em pós-emergência no arroz de terras altas. **Planta Daninha**, v. 30, n. 3, p. 617-625, 2012.
- PETTER, F. A.; ZUFFO, A. M.; PACHECO, L. P. Seletividade de herbicidas inibidores de ALS em diferentes estádios de desenvolvimento do arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 3, p. 408-414, 2011.
- RODRIGUES-COSTA, A. C. P. *et al.* Seletividade de herbicidas aplicados em pré-emergência em gramíneas forrageiras. **Planta Daninha**, v. 29, n. 3, p. 625-633, 2011.
- SARTORI, G. M. S. *et al.* Rendimento de grãos e eficiência no uso de água de arroz irrigado em função da época de semeadura. **Ciência Rural**, v. 43, n. 3, p. 397-403, 2013.
- SIMINSZKY, B. Plant cytochrome P450-mediated herbicide metabolism. **Phytochemistry Reviews**, v. 5, n. 2/3, p. 445-458, 2006.
- SOSBAI. XXIX REUNIÃO TÉCNICA DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO. **Recomendações técnicas da pesquisa para o sul do Brasil**. Sociedade sul-brasileira de Arroz irrigado. Gravatal, RS, 2012.
- TELÓ, G. M. *et al.* Aplicação de fungicida em cultivares de arroz irrigado e seu efeito na qualidade de sementes. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 34, n. 1, p. 99-107, 2012.
- TRIGUEIRO, L. R. C. *et al.* seletividade de herbicidas aplicados em pós-emergência sobre capim-colômbio e efeito na qualidade das sementes. **Planta Daninha**, v. 25, n. 2, p. 341-349, 2007.
- VAN EERD, L. L. *et al.* Pesticide metabolism in plants and microorganisms. **Weed Science**, v. 51, n. 4, p. 472-495, 2003.
- VILA-AIUB, M. M. *et al.* Glyphosate resistance in *Sorghum halepense* and *Lolium rigidum* is reduced at suboptimal growing temperatures. **Pest Management Science**, v. 69, n. 2, p. 228-232, 2012.
- WILLINGHAM, S. D. *et al.* Influence of flood interval and cultivar on rice tolerance to penoxsulam. **Weed Technology**, v. 22, n. 1, p. 114-118, 2008.
- YASUOR, H. *et al.* Mechanism of resistance to penoxsulam in late watergrass [*Echinochloa phyllopogon* (Stapf) Koss.]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 57, n. 9, p. 3653-3660, 2009.
- ZIMMER, P. D. Fundamentos da qualidade da semente. In: PESKE, S. T.; VILLELA, F. A.; MENEGHELLO, G. E. **Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos**. 3. ed. rev. e ampl. Pelotas: Ed. Universitária/UFPel, 2012. Cap. 2, p. 105-160.