

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade



Dissertação

**Alterações no metabolismo, nos componentes de
produção e na qualidade fisiológica de sementes de arroz
em função da aplicação de herbicidas e nitrogênio**

Ana Claudia Langaro

Pelotas, 2015

Ana Claudia Langaro

Alterações no metabolismo, nos componentes de produção e na qualidade fisiológica de sementes de arroz em função da aplicação de herbicidas e nitrogênio

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Fitossanidade (área do conhecimento: Herbologia).

Orientador: Dr. Dirceu Agostinetto

Pelotas, 2015

Banca examinadora:

Eng. Agr. PhD. Edinalvo Rabaioli Camargo

Eng. Agr. Dr. Tiago Zanatta Aumonde

Eng. Agr. PhD. André Andres

Eng. Agr. Dr. Dirceu Agostinetto
(Orientador)

Aos meus pais, Maria Inês e Gilberto;
Ao meu irmão João Pedro.

OFEREÇO E DEDICO

“Mesmo quando tudo parece desabar, cabe a mim decidir entre rir ou chorar, ir ou ficar, desistir ou lutar; porque descobri, no caminho incerto da vida, que o mais importante é o **decidir**.”

Cora Coralina

Agradecimentos

À Deus, pelo dom da vida e por ter me proporcionado força e coragem durante o transcorrer desta etapa.

Aos meus pais e meu irmão, os responsáveis pela formação de meu caráter e personalidade, que sempre estiveram ao meu lado e com muito carinho, amor e confiança não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida.

Ao Professor Dirceu Agostinetti, pela orientação, pelos ensinamentos, paciência, amizade, confiança, conselhos, disponibilidade, e por não ter medido esforços para ajudar-me na garantia do bom andamento da pesquisa.

Aos demais professores do programa Edinaldo Camargo, Fabiane Lamego, Leandro Vargas, Luis Antonio Avila, Jesus Juarez Oliveira Pinto e Jose Alberto Noldin pela amizade, apoio e incentivo durante a realização do mestrado.

A Universidade Federal de Pelotas pela infraestrutura disponibilizada para a condução dos experimentos.

Ao Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade pela oportunidade de realização do curso e aos professores que contribuíram para minha formação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de Mestrado.

Aos meus colegas e amigos Alfran Tellechea Martini, Ananda Scherner, Diogo Balbé, Diogo da Silva Moura, Fabio Schreiber, Guilherme Cassol, João Paulo Refatti, Joice Bonow, Karen Martins, Leonard Pivetta, Luiza Piccinini, Marcos Marchezan, Mariah Marques, Marlon Bastiani, Thais Avila Rosa, Vinicius Gehrke, em especial ao André da Rosa Ulguim, Andres Monge Vargas, Bruno Moncks da Silva, Camila Peligrinotti Tarouco, Cláudia de Oliveira, Diego Fraga, Fernanda Caratti,

Franciele Mariani, Jader Job Franco, Joanei Cechin, Lais Tessari Perboni, Marcos André Nohatto, Mariane Pertile, Nixon Westendorff, Queli Ruchel, Renan Ricardo Zandoná, Theodoro Schneider e Vinicius Zimmer pela amizade, incentivo, auxílio na execução dos trabalhos e pelos momentos de convívio.

Aos estagiários e bolsistas Ana Marina Pedrolo, Daniela Tessaro, Gabriel Gossler, Gustavo Dal Forno, Humberto Farias, Jessica Gomes da Silva, Jéssica Rodrigues Garcia, Sandro Roberto Piesanti e Thiago Vieira Duarte pela amizade e auxílio na execução dos experimentos.

A todos os que contribuíram para a realização deste trabalho.

Resumo

LANGARO, Ana Claudia. **Alterações no metabolismo, nos componentes de produção e na qualidade fisiológica de sementes de arroz em função da aplicação de herbicidas e nitrogênio.** 2014. 134 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

O controle de plantas daninhas na cultura do arroz é realizado principalmente através do uso de herbicidas, os quais, mesmo sendo seletivos, podem causar fitotoxicidade e desencadear o processo de estresse oxidativo. Diante disso, o objetivo do estudo foi verificar possíveis alterações no metabolismo secundário e na qualidade fisiológica das sementes em resposta ao estresse oxidativo causado por herbicidas e avaliar a recuperação da fitotoxicidade através da adubação nitrogenada. O primeiro experimento foi composto pelos herbicidas oxifluorfem, oxadiazona e pendimetalina (pré-emergência), imazapique + imazapir, quincloraque, bentazona, cialofope-butílico, penoxsulam, bispiribaque-sódico e carfentrazona-etílica (pós-emergência). Os herbicidas oxifluorfem, pendimetalina e carfentrazona-etílica resultaram em menor fotossíntese líquida, aumento do CO_2 subestomático, menor eficiência do uso da água e da carboxilação. Maior peroxidação lipídica foi verificada quando aplicados os herbicidas oxifluorfem, carfentrazona-etílica e bispiribaque-sódico, enquanto que os mesmos não geraram acúmulo de H_2O_2 . Os herbicidas pré-emergentes e os herbicidas pós-emergentes bentazona, carfentrazona-etílica ativaram as enzimas do sistema antioxidante. A aplicação de carfentrazona-etílica, em geral, resultou em degradação dos pigmentos fotossintéticos. O segundo experimento foi realizado a campo e constou dos herbicidas clomazona, oxadiazona e pendimetalina (pré-emergência), imazapique + imazapir, quincloraque, bentazona, penoxsulam, bispiribaque-sódico e carfentrazona-etílica (pós-emergência). Os herbicidas oxadiazona e pendimetalina, aplicados em pré-emergência e bispiribaque-sódico e carfentrazona-etílica, em pós-emergência, reduziram a massa seca da parte aérea das plantas de arroz. Todos herbicidas aplicados em pré-emergência proporcionaram maior produtividade de grãos em comparação com a testemunha. Para os herbicidas pós-emergentes, a maior e menor produtividade foi observada quando utilizado quincloraque e bispiribaque-sódico, respectivamente. A utilização de clomazona e pendimetalina resultou em maior índice de velocidade de germinação das sementes de arroz. O terceiro experimento foi realizado a campo em parcelas subdivididas, onde as parcelas foram compostas por épocas de aplicação de nitrogênio (sem nitrogênio,

100% antes da entrada da água, 50% antes e 50% depois da entrada da água e 100% depois da entrada da água) e as subparcelas compostas por herbicidas (testemunha, quincloraque, bentazona, bispiribaque-sódico e carfentrazona-etílica). As menores estaturas foram decorrentes da não aplicação de nitrogênio ou quando a aplicação de 100% do nitrogênio foi realizada após a entrada da água. A aplicação de 100% do nitrogênio antes da entrada da água resultou em maior fitotoxicidade causada pelo herbicida bispiribaque-sódico, enquanto que maior fitotoxicidade por bentazona foi observada quando todo nitrogênio foi aplicado após a entrada da água. A aplicação do nitrogênio antes da entrada da água resultou em maior número de afilhos por planta. O herbicida quincloraque e aplicação de nitrogênio antes da entrada da água bem como o parcelamento do nitrogênio resultaram em maior produtividade de grãos.

Palavras-chave: *Oryza sativa*. Seletividade. Estresse oxidativo. Nitrogênio.

Abstract

LANGARO, Ana Claudia. **Changes in secondary metabolism in productivity components and physiological quality of rice seeds through the application of herbicides.** 2014. 134f. Master of Science - Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

The weed control in rice is done mainly through the use of herbicides, which, even though selective, may cause phytotoxicity and trigger oxidative stress process. Thus, the aim of the study was to evaluate possible changes in the secondary metabolism and physiological seed quality in response to oxidative stress caused by herbicides and evaluate the recovery of phytotoxicity by nitrogen fertilization. The first experiment consisted of the oxyfluorfen, oxadiazon and pendimethalin (pre-emergence), imazapic + imazapyr, quincloraq, bentazon, cyhalofop-butyl, penoxsulan, bispyribac-sodium and carfentrazone-ethyl (post-emergence). Oxyfluorfen, pendimethalin and carfentrazone-ethyl herbicides resulted in lower net photosynthesis, increased sub stomatal CO₂, lower efficiency of water use and carboxylation. Greater lipid peroxidation was observed when applied the oxyfluorfen, carfentrazone-ethyl and bispyribac-sodium herbicides, while the same did not generate H₂O₂ accumulation. The pre-emergent herbicides and post-emergent herbicide bentazon and carfentrazone-ethyl activated enzymes of the antioxidant system. The application of carfentrazone-ethyl, in general, resulted in degradation of photosynthetic pigments. The second experiment was carried out in the field and consisted of clomazone, oxadiazon and pendimethalin (pre-emergence), imazapic + imazapyr, quincloraq, bentazon, penoxsulan, bispyribac-sodium and carfentrazone-ethyl (post-emergence). The oxadiazon and pendimethalin herbicides applied in pre-emergence and bispyribac-sodium and carfentrazone-ethyl, post-emergence, reduced dry matter of leaves of rice plants. All herbicides applied in pre-emergence showed higher grain yield compared to control. For post-emergence herbicides, the highest and lowest yield was observed when used quincloraq and bispyribac-sodium, respectively. The use of clomazone and pendimethalin resulted in higher germination rate index for rice seed. The third experiment was carried out in the field in split plots, where plots had nitrogen application date (without nitrogen, 100% before the water intake, 50% before and 50% after the water intake and 100% after the water intake) and composed of herbicides subplots (control, quincloraq, bentazon, bispyribac-sodium and carfentrazone-ethyl). The smaller statures were due to non-application of nitrogen or when the application of 100% of the nitrogen was carried out after the entry of water. The application of 100% of the nitrogen prior to the entry of water

resulted in a greater phytotoxicity caused by the herbicide bispyribac-sodium, while most of bentazon phytotoxicity was observed when nitrogen was applied after the whole water intake. The application of nitrogen before water intake resulted in higher number of tillers per plant. The quincloraq herbicide and nitrogen application before and the splitting of nitrogen water intake resulted in higher grain yield.

Keywords: *Oryza sativa*. Selectivity. Oxidative stress. Nitrogen.

Lista de Tabelas

Tabela 1	Fitotoxicidade (%) aos oito dias após a emergência e estatura (cm) aos oito e 12 dias após a emergência (DAE) de plantas de arroz submetidas à aplicação de herbicidas pré-emergentes. FAEM/UFPel, Capão do Leão/RS, 2013.....	38
Tabela 2	Fitotoxicidade (%) e estatura (cm) as 120 horas após a pulverização (HAP) dos tratamentos em plantas de arroz submetidas a aplicação de herbicidas pós-emergentes. FAEM/UFPel, Capão do Leão/RS, 2013.....	39
Tabela 3	Fotossíntese líquida (A) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), concentração de CO_2 subestomática (C_i) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$), taxa de transpiração (E) ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), eficiência do uso da água (EUA) ($\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$) e eficiência da carboxilação (CE) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) em plantas de arroz submetidas à aplicação de herbicidas pré-emergentes, avaliadas aos 12 dias após a emergência (DAE). FAEM/UFPel, Capão do Leão/RS, 2013.....	40
Tabela 4	Fotossíntese líquida (A) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (G_s) ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), concentração de CO_2 subestomática (C_i) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$), eficiência do uso da água (EUA) ($\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$) e eficiência da carboxilação (CE) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de plantas de arroz submetidas à aplicação de herbicidas pós-emergentes, avaliadas 120 horas após a pulverização (HAP). FAEM/UFPel, Capão do Leão/RS, 2013.....	42
Tabela 5	Peroxidação lipídica em termos das espécies reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) (nM MDA g^{-1} de MF), atividade da superóxido dismutase (SOD) ($\text{UA mg}^{-1} \text{ proteína minuto}^{-1}$), atividade da catalase (CAT) ($\text{UA mg}^{-1} \text{ proteína minuto}^{-1}$), teor de proteína (PROT) (mg caseína g^{-1} MF) e teor de prolina (PROL) (mg prolina g^{-1} MF) em plantas de arroz submetidas à aplicação de herbicidas pré-emergentes, avaliadas aos oito dias após a emergência (DAE). FAEM/UFPel, Capão do Leão/RS, 2013/14.....	44

Tabela 6	Peroxidação lipídica em termos das espécies reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) (nM MDA g ⁻¹ de MF), teor de peróxido de hidrogênio (H ₂ O ₂) (mM g ⁻¹ MF) e atividade da ascorbato peroxidase (APX) (UA mg ⁻¹ proteína minuto ⁻¹) em plantas de arroz submetidas à aplicação de herbicidas pré-emergentes, avaliadas aos 12 dias após a emergência (DAE). FAEM/UFPeI, Capão do Leão/RS, 2013/14.....	47
Tabela 7	Teor de clorofila a (CL A) (mg g ⁻¹), clorofila b (CL B) (mg g ⁻¹), clorofilas totais (CL T) (mg g ⁻¹), carotenoides (CR) (mg g ⁻¹) e relação A/B em plantas de arroz submetidas a aplicação de herbicidas pós-emergentes, avaliadas 24 horas após a pulverização (HAP). FAEM/UFPeI, Capão do Leão/RS, 2013/14.....	49
Tabela 8	Teor de clorofila a (CL A) (mg g ⁻¹), clorofila b (CL B) (mg g ⁻¹), clorofilas totais (CL T) (mg g ⁻¹), carotenoides (CR) (mg g ⁻¹) em plantas de arroz submetidas a aplicação de herbicidas pós-emergentes, avaliadas 120 horas após a pulverização dos tratamentos (HAP). FAEM/UFPeI, Capão do Leão/RS, 2013/14.....	51
Tabela 9	Teor de peróxido de hidrogênio (H ₂ O ₂) (mM g ⁻¹), peroxidação lipídica em termos das espécies reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) (nM MDA g ⁻¹ de MF) e teor de prolina (PROL) (mg prolina g ⁻¹ MF) em plantas de arroz após a aplicação de herbicidas pós-emergentes, avaliadas as 24 horas após a aplicação (HAP). FAEM/UFPeI, Capão do Leão/RS, 2013/14.....	52
Tabela 10	Teor de peróxido de hidrogênio (H ₂ O ₂) (mM g ⁻¹ MF), peroxidação lipídica em termos das espécies reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) (nM MDA g ⁻¹ de MF) e teor de prolina (PROL) (mg prolina g ⁻¹ MF) em plantas de arroz após a aplicação de herbicidas pós-emergentes, avaliadas as 120 horas após a pulverização dos tratamento (HAP). FAEM/UFPeI, Capão do Leão/RS, 2013/14.....	53
Tabela 11	Teor de proteína (PROT) (mg caseína g ⁻¹ MF), atividade da superóxido dismutase (SOD) (UA mg ⁻¹ proteína minuto ⁻¹), atividade da catalase (CAT) (UA mg ⁻¹ proteína minuto ⁻¹) e atividade da ascorbato peroxidase (APX) (UA mg ⁻¹ proteína minuto ⁻¹) em plantas de arroz submetidas a aplicação de herbicidas pós-emergentes, avaliadas as 24 horas após a pulverização dos tratamento (HAP). FAEM/UFPeI, Capão do Leão/RS, 2013/14.....	55

Tabela 12	Teor de proteína (PROT) (mg caseína g^{-1} MF), atividade da superóxido dismutase (SOD) (UA mg^{-1} proteína minuto^{-1}), atividade da catalase (CAT) (UA mg^{-1} proteína minuto^{-1}) e atividade da ascorbato peroxidase (APX) (UA mg^{-1} proteína minuto^{-1}) em plantas de arroz submetidas a aplicação de herbicidas pós-emergentes, avaliadas as 120 horas após a pulverização dos tratamento (HAP). FAEM/UFPeI, Capão do Leão/RS, 2013/14.....	56
Tabela 13	Correlação de Pearson para as variáveis fitotoxicidade (FITO), estatura (EST), peroxidação lipídica (TBARS), superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), proteínas (PROT) e prolina (PROL) em plantas de arroz submetidas à aplicação de herbicidas pré-emergentes, avaliadas aos oito dias após a emergência (DAE). FAEM/UFPeI, Capão do Leão/RS, 2013/14.....	59
Tabela 14	Correlação de Pearson para as variáveis estatura (EST), peroxidação lipídica (TBARS), peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e ascorbato peroxidase (APX) em plantas de arroz submetidas à aplicação de herbicidas pré-emergentes, avaliadas aos 12 dias após a emergência (DAE). FAEM/UFPeI, Capão do Leão/RS, 2013/14.....	60
Tabela 15	Correlação de Pearson para as variáveis clorofila a (Cha), clorofila b (Chb), clorofilas totais (Chtot), carotenoides (CR), relação A/B (A/B), peróxido de hidrogênio (H_2O_2), peroxidação lipídica (TBARS), superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), ascorbato peroxidase (APX), proteínas (PROT) e prolina (PROL) em plantas de arroz submetidas à aplicação de herbicidas pós-emergentes, avaliadas as 24 horas após a pulverização dos tratamento (HAP). FAEM/UFPeI, Capão do Leão/RS, 2013/14....	61
Tabela 16	Correlação de Pearson para as variáveis fitotoxicidade (FITO), estatura (EST), clorofila a (Cha), clorofila b (Chb), clorofilas totais (Chtot), carotenoides (CR), peróxido de hidrogênio (H_2O_2), peroxidação lipídica (TBARS), prolina (PROL), proteínas (PROT), superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APX) em plantas de arroz submetidas à aplicação de herbicidas pós-emergentes, avaliadas às 120 horas após a pulverização dos tratamento (HAP). FAEM/UFPeI, Capão do Leão/RS, 2013/14.....	62
Tabela 17	Estatura aos 10 e 20 dias após a emergência (DAE) de plantas de arroz submetidas à aplicação de herbicidas pré-emergentes. FAEM/UFPeI, Capão do Leão/RS, 2013/14.....	70
Tabela 18	Estatura aos 10 e 20 dias após a aplicação dos tratamentos (DAT) de plantas de arroz submetidas à aplicação de herbicidas pós-emergentes. FAEM/UFPeI, Capão do Leão/RS, 2013/14.....	71

Tabela 19	Fitotoxicidade (%) aos 10, 20 e 30 dias após a emergência (DAE) de plantas de arroz submetidas à aplicação de herbicidas pré-emergentes. FAEM/UFPeI, Capão do Leão/RS, 2013/14.....	73
Tabela 20	Fitotoxicidade (%) aos 10, 20 e 30 dias após a aplicação dos tratamentos (DAT) de plantas de arroz submetidas à aplicação de herbicidas pós-emergentes. FAEM/UFPeI, Capão do Leão/RS, 2013/14.....	74
Tabela 21	Massa seca da parte aérea (MSPA) aos 10 DAE e número de afilhos por planta aos 30 dias após a emergência (DAE) e de plantas de arroz submetidas à aplicação de herbicidas pré-emergentes. FAEM/UFPeI, Capão do Leão/RS, 2013/14.....	75
Tabela 22	Massa seca da parte aérea aos 20 e 30 dias após a aplicação dos tratamentos (DAT) de plantas de arroz submetidas à aplicação de herbicidas pós-emergentes. FAEM/UFPeI, Capão do Leão/RS, 2013/14.....	76
Tabela 23	Número de grãos por panícula e produtividade de plantas de arroz submetidas a aplicação de herbicidas pré-emergentes. FAEM/UFPeI, Capão do Leão/RS, 2013/14.....	77
Tabela 24	Produtividade de plantas de arroz submetidas a aplicação de herbicidas pós-emergentes. FAEM/UFPeI, Capão do Leão/RS, 2013/14.....	79
Tabela 25	Índice de velocidade de germinação (IVG) e envelhecimento acelerado de plantas de arroz submetidas a aplicação de herbicidas pré-emergentes. FAEM/UFPeI, Capão do Leão/RS, 2013/14.....	80
Tabela 26	Condutividade elétrica de plantas de arroz submetidas à aplicação de herbicidas pós-emergentes. FAEM/UFPeI, Capão do Leão/RS, 2013/14.....	81
Tabela 27	Correlação de Pearson para as variáveis estatura (EST), massa seca da parte aérea (MS) e fitotoxicidade (FITO) aos 10, 20 e 30 dias após a aplicação dos tratamentos, número de afilhos por planta, peso de mil grãos, número de grãos por panícula, número de grãos vazios e produtividade em plantas de arroz submetidas à aplicação de herbicidas pré-emergentes. FAEM/UFPeI, Capão do Leão/RS, 2013/14.....	83

Tabela 28	Correlação de Pearson para as variáveis estatura (EST), massa seca da parte aérea (MS) e fitotoxicidade (FITO) aos 10, 20 e 30 dias após a aplicação dos tratamentos, número de afilhos por planta, peso de mil grãos, número de grãos por panícula, número de grãos vazios e produtividade em plantas de arroz submetidas à aplicação de herbicidas pós-emergentes. FAEM/UFPeI, Capão do Leão/RS, 2013/14.....	84
Tabela 29	Estatura (cm) aos 10 dias após a aplicação dos tratamentos (DAT) de plantas de arroz submetidas à aplicação de herbicidas pós-emergentes e em função da época de aplicação de nitrogênio. FAEM/UFPeI, Capão do Leão/RS, 2013/14.....	91
Tabela 30	Estatura (cm) aos 20 dias após a aplicação dos tratamentos (DAT) de plantas de arroz submetidas à aplicação de herbicidas pós-emergentes. FAEM/UFPeI, Capão do Leão/RS, 2013/14.....	92
Tabela 31	Estatura aos 20 e 30 dias após a aplicação dos tratamentos (DAT) de plantas de arroz em função da época de aplicação de nitrogênio. FAEM/UFPeI, Capão do Leão/RS, 2013/14.....	92
Tabela 32	Fitotoxicidade (%) aos 10 dias após a aplicação dos tratamentos (DAT) de plantas de arroz submetidas à aplicação de herbicidas pós-emergentes e em função da época de aplicação de nitrogênio. FAEM/UFPeI, Capão do Leão/RS, 2013/14.....	93
Tabela 33	Fitotoxicidade aos 20 e 30 dias após a aplicação dos tratamentos (DAT) de plantas de arroz submetidas à aplicação de herbicidas pós-emergentes. FAEM/UFPeI, Capão do Leão/RS, 2013/14.....	95
Tabela 34	Massa seca da parte aérea aos 10, 20 e 30 dias após a aplicação dos tratamentos (DAT) de plantas de arroz em função da época de aplicação de nitrogênio. FAEM/UFPeI, Capão do Leão/RS, 2013/14.....	96
Tabela 35	Número de afilhos por planta e de grãos vazios por panícula de plantas de arroz em função da época de aplicação de nitrogênio. FAEM/UFPeI, Capão do Leão/RS, 2013/14.....	97
Tabela 36	Produtividade de plantas de arroz submetidas à aplicação de herbicidas pós-emergentes. FAEM/UFPeI, Capão do Leão/RS, 2013/14.....	98
Tabela 37	Peso de mil grãos (g) e produtividade (kg ha^{-1}) de plantas de arroz em função da época de aplicação de nitrogênio. FAEM/UFPeI, Capão do Leão/RS, 2013/14.....	99

Tabela 38	Correlação de Pearson para as variáveis estatura (EST), fitotoxicidade (FITO) e massa seca da parte aérea (MS) aos 10, 20 e 30 dias após a aplicação dos tratamentos, número de filhinhos por planta, número de grãos vazios, número de grãos por panícula, produtividade e peso de mil grãos em plantas de arroz submetidas à aplicação de herbicidas pós-emergentes e épocas de aplicação de nitrogênio. FAEM/UFPEL, Capão do Leão/RS, 2013/14.....	101
-----------	---	-----

Sumário

1 INTRODUÇÃO.....	19
2 CAPÍTULO I - Alterações fisiológicas em plantas de arroz submetidas a aplicação de herbicidas pré e pós-emergentes.....	31
2.1 Introdução.....	31
2.2 Material e métodos.....	33
2.3 Resultados e discussão.....	37
2.4 Conclusões.....	63
3 CAPÍTULO II - Seletividade de herbicidas na cultura do arroz e efeito nos componentes da produtividade e na qualidade fisiológica de sementes.....	64
3.1 Introdução.....	64
3.2 Material e métodos.....	66
3.3 Resultados e discussão.....	69
3.4 Conclusões.....	85
4 CAPÍTULO III - Utilização de adubação nitrogenada para recuperação de fitotoxicidade de herbicidas ao arroz.....	86
4.1 Introdução.....	86
4.2 Material e métodos.....	88
4.3 Resultados e discussão.....	90
4.4 Conclusão.....	102
5 CONCLUSÕES.....	103
6 REFERÊNCIAS.....	105
VITA.....	134

1 INTRODUÇÃO

O arroz é uma Liliopsida, pertencente à família Poaceae e gênero *Oryza*, o qual possui cerca de 20 espécies conhecidas. *Oryza sativa* L. é a principal espécie do gênero, a qual pertencem à maioria das cultivares de arroz utilizadas no mundo, sendo seu centro de origem o continente asiático. O arroz é o principal alimento para a maioria da população mundial, constituindo-se, juntamente com o trigo e o milho, nos alimentos mais produzidos no mundo (FAO, 2015).

O Brasil está entre os dez maiores produtores mundiais do grão e produziu aproximadamente 12,2 milhões de toneladas de arroz por ano na última década, sendo o Estado do Rio Grande do Sul o maior produtor nacional, com produtividade média de 6,97 toneladas por hectare (CONAB, 2015). Mesmo o Brasil sendo um dos principais produtores mundiais do grão, ainda não se atingiu o patamar de produtividade considerado ideal para a cultura, principalmente em função de diversos fatores a serem melhorados, como manejo de água, fertilidade, qualidade de sementes, sistematização das várzeas e manejo fitossanitário.

A interferência das plantas daninhas pode causar redução de 80 a 90% na produtividade de grãos do arroz irrigado (ANDRES; MACHADO, 2004). O grau de interferência das plantas daninhas é condicionado, dentre vários fatores, pela época e duração do período de convivência com a cultura e também pelo manejo utilizado (PITELLI, 1985). A interferência pode ser definida como conjunto de ações que a cultura recebe das plantas daninhas, resultando em respostas diretas ou indiretas. A interferência direta mais conhecida é a competição das plantas daninhas por luz, água e nutrientes, constituindo um dos principais fatores limitantes da produtividade nas lavouras de arroz irrigado e tornando o manejo componente importante para que a sustentabilidade do cultivo seja atingida.

A fim de evitar as perdas decorrentes da competição com plantas daninhas, vários manejos fitossanitários são utilizados, sendo o controle químico, dentro do programa de manejo integrado, a principal ferramenta de controle das plantas daninhas nas áreas de arroz irrigado. No entanto, o uso contínuo de herbicidas que possuem o mesmo mecanismo de ação pode selecionar biótipos resistentes. Os herbicidas não possuem capacidade de proporcionar mutação genética nas plantas, no entanto, a pressão de seleção através da utilização intensiva do mesmo mecanismo de ação faz com que as plantas demonstrem habilidades já adquiridas previamente em seu material genético, de sobreviver às condições adversas criadas pela utilização destes produtos (LAMEGO et al., 2006).

A insensibilidade de plantas daninhas aos princípios químicos pode ser causada por diferentes mecanismos relacionados à alteração do local de ação como: alteração de um ou mais aminoácidos na enzima alvo ou superexpressão da enzima e não relacionados à alteração do local de ação como: redução da absorção e/ou da translocação, incremento no metabolismo do herbicida na planta; e compartimentalização ou sequestro do herbicida (MATIELLO; RONZELLI; PURÍSSIMO, 1999).

O surgimento de biótipos resistentes ocorre, com maior frequência, em áreas onde há uso repetido de herbicidas de mesmo grupo ou pertencentes a diferentes grupos, mas com o mesmo mecanismo de ação (GRESSEL; SEGEL, 1990). Os fatores mais importantes que influenciam a seleção de biótipos resistentes são a intensidade de uso, a eficiência e persistência do herbicida, a eficácia dos mecanismos de resistência, a especificidade do herbicida com respeito ao mecanismo de ação e a eficiência dos métodos de controle alternativos aos métodos químicos (RUBIM, 1991). Assim, o estudo de alternativas de controle é fundamental para o adequado manejo dos biótipos resistentes.

A alternativa mais comum, adotada pelos agricultores em áreas onde foram detectados biótipos de plantas daninhas resistentes, é a utilização de herbicidas alternativos, aplicados de forma isolada ou misturados em tanque com aqueles herbicidas para os quais foi detectada a resistência (PETERSON, 1999). Ainda segundo o mesmo autor, a mudança do herbicida só se torna viável se existirem herbicidas alternativos que promovam controle das plantas daninhas em níveis similares e com custos compatíveis com os do sistema de produção.

A utilização de herbicidas alternativos para o controle de plantas daninhas pode ocasionar a retomada de produtos com menor seletividade a cultura. A habilidade das plantas tolerarem ao herbicida, seja planta daninha ou cultivada, é devido à capacidade diferencial na absorção, translocação, metabolização, compartimentalização ou exsudação do composto para o ambiente. Além disso, o estágio de desenvolvimento e as condições climáticas antes e após aplicação influenciam de forma substancial na tolerância das espécies aos herbicidas (AGOSTINETTO; VARGAS, 2009). Dessa forma as espécies podem apresentar respostas diferentes à aplicação de herbicidas.

A menor seletividade das plantas a determinados herbicidas é expressa principalmente na forma de fitotoxicidade. Os sintomas de fitotoxicidade provocados por herbicidas podem ser caracterizados por clorose acentuada ao longo do limbo foliar, redução do comprimento de radículas ou do colmo principal, necroses, albinismos, enrolamento e ressecamento de folhas a partir do ápice e da margem, menor espessura de colmos, morte de afilhos ou do ponto de crescimento, paralisação de crescimento e redução de estatura (LÓPEZ-OVEJERO et al., 2003; BARELA; CHRISTOFFOLETI, 2006).

A ação herbicida pode ser descrita como uma interação fisiológica e bioquímica entre um herbicida e a planta. Quando o herbicida é absorvido, diversas alterações no metabolismo podem ocorrer, sendo a principal delas a produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), e consequentemente o estresse oxidativo.

O oxigênio molecular (O_2) possui baixa reatividade devido à configuração paralela de seus elétrons nos dois últimos orbitais incompletos. No estado fundamental, o oxigênio é tripleto (3O_2) com dois elétrons não pareados, de mesmo *spin*, em diferentes orbitais. A ativação e rotação de um dos elétrons desemparelhados pode ser revertida por excitação e formar oxigênio singleto (1O_2) (LIMA; ABDALLA, 2001; KOVALCHUK, 2010). Esta organização impõe que a redução do O_2 deve ser efetuada por transferências consecutivas de um elétron. Os produtos resultantes da redução do O_2 são altamente reativos e recebem a denominação de EROs (KOVALCHUK, 2010). As EROs são normalmente referidas como subprodutos de reações redox que se apresentam tanto como radicais livres, como na forma molecular de um não radical. Essas moléculas podem ser geradas como resultado de excitação, formando oxigênio singleto, ou de sucessivas adições

de elétrons ao O_2 , reduzindo-o ao radical aniônico superóxido $O_2^{\bullet-}$ ou peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e radical hidroxila ($OH^{\bullet}$).

O conjunto de reações através das quais o $O_2^{\bullet-}$, o H_2O_2 e o Fe^{2+} rapidamente geram $OH^{\bullet}$ é conhecido como “reação de Haber-Weiss”, enquanto que a reação final, a oxidação do H_2O_2 pelo Fe^{2+} , é denominada reação de Fenton (GIL; TUTEJA, 2010). Essas reações podem ocorrer na presença dos íons ferro ou cobre (BARTOSZ, 1997; BHATTACHARJEE, 2010).

O H_2O_2 é uma EROs moderadamente reativa com meia-vida relativamente longa (1 ms) e cujo pequeno tamanho permite-lhe atravessar membranas celulares e migrar em compartimentos diferentes. Dessa forma, difunde os danos e também atua como mensageiro da condição de estresse. O H_2O_2 desempenha duplo papel em plantas: em baixas concentrações, atua como molécula envolvida na sinalização de aclimação desencadeando tolerância a vários estresses bióticos e abióticos e, em altas concentrações, leva a morte programada da célula (MA; RAHMAT; LAM, 2013). Além disso, o H_2O_2 tem se mostrado também como regulador chave em diversos processos fisiológicos, tais como a senescência (PENG et al., 2005), fotorrespiração e fotossíntese (NOCTOR; FOYER, 1998), movimento estomático (BRIGHT et al., 2006), do ciclo celular (MITTLER et al., 2004) e do crescimento e desenvolvimento (FOREMAN et al., 2003).

O H_2O_2 tem ação deletéria, porque participa da reação formadora de $OH^{\bullet}$, o oxidante mais reativo na família das EROs. Além disso, o H_2O_2 é capaz de inativar enzimas por oxidação de seus grupos tiol (GADJEV; STONE; GECHEV, 2008; KARUPPANAPANDIAN et al, 2011). O radical $OH^{\bullet}$ é considerado a mais oxidante dentre as EROs e sua alta reatividade resulta em reações rápidas e inespecíficas com distintos substratos, podendo potencialmente reagir com todos os tipos de moléculas biológicas (AGUIAR; FERRAZ, 2007; MYLONA; POLIDOROS, 2010).

Sob condições normais, as EROs são geradas pelo metabolismo dos organismos aeróbicos, principalmente através da fotossíntese e respiração, porém mantidos em níveis basais através de sistemas antioxidantes de defesa (GRATÃO et al., 2005). Quando esse aumento é maior que a capacidade antioxidante da célula, caracteriza-se o processo de estresse oxidativo (PANDHAIR; SEKHON, 2006). Se mantido em níveis relativamente baixos, é provável que funcione como componentes da via de sinalização de estresse, desencadeando defesa ao estresse ou respostas de aclimação (CARVALHO, 2008).

A fotorrespiração é, sem dúvida, a principal fonte de H_2O_2 em células fotossintéticas. A geração peroxissomal de H_2O_2 pode servir como mecanismo de transferência de sinal proveniente da fotossíntese para o resto da célula (FOYER et al., 2009). Mesmo sob condições normais, a formação de H_2O_2 pela cadeia de transporte de elétrons fotossintética de plantas C_3 é da ordem de $4 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e, nos peroxissomos, na via fotorrespiratória, é de $10 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (FOYER; SHIGEOKA, 2011).

Herbicidas que interferem na cadeia de transporte de elétrons, tanto pela inibição do fotossistema II ou pela captação de elétrons no fotossistema I, induzem ação fitotóxica pela ativação molecular do oxigênio. Quando a redução da plastoquinona é inibida pelo herbicida, a energia de excitação não pode ser dissipada de maneira usual. A emissão de calor e fluorescência atinge o máximo e a clorofila é acumulada na forma mais estável, clorofila triplete ($^3\text{Chl}^*$) (FUFEZAN; RUTHERFORD; KRIEGER-LISZKAY, 2002). O excesso de clorofila em estado triplete pode reagir com o oxigênio para formar o oxigênio singleto, altamente reativo, o qual pode induzir perda de pigmentos e peroxidação lipídica (DEVINE; DUKE; FEDTKE, 1993).

Herbicidas podem interferir na fotossíntese normal pela inibição da síntese de carotenoides e resultam na degradação fotooxidativa e na destruição de membranas fotossintéticas (WAKABAYASHI; BÖGER, 2004). As mais importantes enzimas alvos dos herbicidas que afetam a biossíntese de carotenoides são as desaturases. Inibidores de carotenoides que interferem com diferentes tipos de pigmentos no cloroplasto (carotenoides e clorofilas) podem exercer a sua ação fitotóxica pela ativação e aumento das EROs de maneira indireta, devido a incapacidade de dissipação do excesso de luz (WAKABAYASHI; BÖGER, 2004).

Outro mecanismo de produção de EROs é fornecido pela drenagem de elétrons induzida por herbicidas do tipo bipyridilos (paraquat). Estes herbicidas reagem com o oxigênio molecular para produzir o radical superóxido (chamada de reação de Melher). O $\text{O}_2^{\bullet -}$ pode também começar uma cadeia de oxidações e peroxidações que estabelecem a ação herbicida (SUNTRES, 2002). Neste caso a ação fitotóxica do herbicida é devido a canalização de elétrons dos fotossistemas até o oxigênio.

A enzima protoporfirinogênio oxidase presente nos cloroplastos e mitocôndrias tem sido escolhida como alvo de ação de herbicidas. Após inibida, o

porfirinogênio difunde-se fora do sítio onde se encontra a enzima que o metaboliza e está sujeito a aromatização oxidativa que o converte em protoporfirina IX. O acúmulo deste metabólito causa a formação de $^1\text{O}_2$ na presença de luz com a consequente geração de estresse oxidativo (DEVINE; DUKE; FEDTKE, 1993; JUNG; KUK, 2003).

Após a penetração do herbicida na planta, a molécula poderá ser metabolizada a compostos secundários sem atividade ou com atividade reduzida. Normalmente os mecanismos de desintoxicação de herbicidas incluem metabolismo enzimático e transformação desses compostos em substâncias menos tóxicas. Entre as enzimas pode-se citar a glutathione-S-transferase, que atua na conjugação de herbicidas e/ou moléculas tóxicas com os peptídeos de glutathione inativando ou reduzindo a fitotoxidez de determinada molécula (EDWARDS; DIXON; WALBOT, 2000).

Embora o aumento da produção de EROs na célula representa ameaça para as biomoléculas celulares, também atuam como moléculas sinalizadoras e ativam genes relacionados a vias de sinalização (DUBEY, 2011). Para sobreviver a tais restrições, as plantas possuem diversos mecanismos que lhes permitem perceber e traduzir sinais externos, a fim de desencadear respostas adaptativas (MILLER et al., 2011). Dessa forma, as plantas desenvolveram dois mecanismos de proteção, um sistema antioxidante enzimático e outro não enzimático (MITTLER, 2002), os quais incluem enzimas antioxidantes e metabólitos que detoxificam essas formas de EROs, além de mecanismo que dissipa o excesso de energia absorvida antes da formação de oxigênio singlete. A partição entre estes dois sistemas sob condições de estresse pode ser regulada pela concentração de O_2 no sistema (BLOKHINA; VIROLAINEN; FAGERSTEDT, 2003).

O mais importante mecanismo de detoxificação das EROs inclui a atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD), ascorbato peroxidase (APX) e catalase (CAT). Várias destas enzimas podem ser induzidas, inibidas ou ativadas por efetores endógenos (GRATÃO et al., 2005). O balanço entre as atividades da SOD, peroxidases e CAT, é crucial para se determinar os níveis basais de radicais O_2^{*-} e H_2O_2 . Este balanço junto com o sequestro de íons metálicos previne a formação de OH^* nas reações de Haber-Weiss e Fenton (MITTLER, 2002; VAN BREUSEGEM et al., 2001).

As SODs são metalo-enzimas consideradas a primeira linha de defesa contra as EROs e que catalisam a dismutação de dois radicais O_2^{*-} , gerando H_2O_2 e

O_2 . Essas enzimas participam da modulação do nível de H_2O_2 em cloroplastos, mitocôndrias, citosol e peroxissomos (MITTLER, 2002; BHATTACHARJEE, 2010). Uma vez que dismutam o O_2^{*-} , agem indiretamente na redução do risco de formação do OH^* a partir do O_2^{*-} (DUBEY, 2011; DINAKAR; DJILIANOV; BARTELS, 2012). São classificadas de acordo com seus cofatores metálicos: cobre e zinco (Cu/Zn-SOD), manganês (Mn-SOD) e ferro (Fe-SOD) (GILL; TUJETA, 2010). Em geral, as plantas contêm uma Mn-SOD localizada na matriz mitocondrial e uma Cu/Zn-SOD citosólica, com Fe-SOD e/ou Cu/Zn-SOD, presentes no estroma do cloroplasto. O número de isoenzimas de cada tipo de SOD varia muito de planta para planta, assim como a abundância relativa de cada enzima (BOWLER; MONTAGU; INZE, 1992).

A CAT é uma das principais enzimas que atuam na eliminação do H_2O_2 gerado durante a fotorrespiração e a β -oxidação dos ácidos graxos, sendo encontrada nos peroxissomos, glioxissomos e mitocôndrias e converte duas moléculas de H_2O_2 a H_2O e oxigênio molecular (HELDT; HELDT, 2005; DUBEY, 2011). As plantas possuem várias isoformas de CAT, as quais podem dismutar diretamente o H_2O_2 ou oxidar substratos, tais como metanol, etanol, formaldeído e ácido fórmico (VAN BREUSEGEM et al., 2001). Como a CAT opera sem agente redutor, ela fornece às plantas uma forma energeticamente eficiente para remoção do H_2O_2 (SHARMA et al., 2012). A atividade da CAT é efetiva, principalmente, em concentrações relativamente altas de H_2O_2 (mM), por isso são consideradas indispensáveis para a detoxificação de EROs, especialmente em condições de estresse severo, quando os níveis de H_2O_2 estão maiores (DUBEY, 2011). No entanto, esta enzima é menos sensível que as peroxidases, ou seja, tem menor afinidade pelo H_2O_2 , sendo o estresse muitas vezes insuficiente para sua ativação. Em situações de elevado estresse oxidativo pode ocorrer ainda a inibição de sua síntese ou mudança na conformação de suas subunidades (SOMASHEKARAI; PADMAJA; PRASAD, 1992). A APX e a CAT são as duas enzimas mais importantes dentre os componentes de desintoxicação do H_2O_2 (BHATT; TRIPATHI, 2011).

O termo peroxidases (POX) inclui grupo de enzimas capazes de catalisar a oxidação de componentes celulares, tais como H_2O_2 ou peróxidos orgânicos (KVARATSKHELIA; WINKEL; THORNELEY, 1997). Dentre elas encontra-se a APX, a qual, em plantas, possui função de proteção antioxidativa. A atividade de peroxidases pode aumentar em plantas submetidas a diversos tipos de estresse (SIEGEL, 1993) e pode ser tomada como marcador bioquímico de estresse

resultante tanto de fatores bióticos como abióticos (LIMA; BRASIL; OLIVEIRA, 1999). Segundo Gaspar (1986) as peroxidases parecem ser a molécula chave de adaptação das plantas, ou de algum de seus órgãos separadamente, às mudanças do meio ambiente.

Estas enzimas catalisam a transferência de elétrons ao H_2O_2 usando diferentes substratos reduzidos como doadores. As POXs de plantas aumentam em resposta a vários estresses bióticos e abióticos, participam no catabolismo de auxinas e em processos de síntese de parede celular como a oxidação de fenóis, suberização e lignificação em plantas hospedeiras durante a reação de defesa contra patógenos (SYROS et al., 2004). O paraquat, um herbicida gerador de estresse oxidativo, induz também este tipo de enzimas (KWAK et al., 1996).

Em plantas, o mais importante redutor para o H_2O_2 é o ascorbato, sendo que a APX usa duas moléculas de ascorbato para reduzir o peróxido de hidrogênio à água, com a geração concomitante de duas moléculas de monodehidroascorbato (MDHA) (NOCTOR; FOYER, 1998). Além disso, essa enzima possui alta afinidade com o H_2O_2 , com uma constante de Michaelis-Menten (KM) na ordem de μM , permitindo a eliminação do H_2O_2 mesmo em baixas concentrações (LOCATO et al., 2010; SHARMA et al., 2012).

Estudos realizados com alguns herbicidas mostraram comportamentos diferentes na atividade de enzimas antioxidantes (DONAHUE et al. 1997; TEISSEIRE; VERNET, 2000; GEOFFROY et al., 2002; EKMEKCI; TERZIOGLU, 2005). Geralmente, a resposta antioxidante varia de acordo com o modo de ação do herbicida aplicado e do cultivo. Assim, o papel das enzimas antioxidantes em situações de estresse é o de controlar o acúmulo de EROs e assim limitar os danos oxidativos (MITTLER, 2002; SHARMA et al., 2012). Tais antioxidantes podem evitar a formação de radicais livres, sequestrá-los ou promover sua degradação, prevenindo a ocorrência de danos às células das plantas (SERKEDJIEVA, 2011).

No sistema antioxidante não enzimático está incluído principalmente o grupo dos compostos fenólicos, que são sintetizados pelas plantas em resposta a injúria física, infecção por bactéria, fungo, nematoides, vírus ou qualquer outro tipo de estresse (NICHOLSON; HAMMERSCHMIDT, 1992). Antioxidantes não enzimáticos são encontrados em todos os compartimentos celulares e os mais importantes são o ácido ascórbico (vitamina C) e a glutathiona (GSH), os quais têm propriedades hidrofílicas. O ácido ascórbico, em pH fisiológico, tem estrutura de enediol na sua

base conjugada, podendo reagir como doador monovalente. A formação de radical ascorbil, pela doação de um elétron, produz deslocação eletrônica altamente estável. Logo, uma dismutação espontânea é produzida para formar ascorbato e deidroascorbato. Este último é convertido a ascorbato em outras vias metabólicas (CHAUDIÈRE; FERRARI-ILIOU, 1999).

Antioxidantes hidrofóbicos são encontrados em lipoproteínas e membranas onde interrompem a propagação da peroxidação lipídica eliminando radicais peroxil e bloqueiam a formação de hidroperóxidos a partir do $^1\text{O}_2$. Entre estes se destacam a vitamina E, carotenoides e possivelmente, ubiquinol na forma reduzida da coenzima Q (CHAUDIÈRE; FERRARI-ILIOU, 1999; LEDFORD; NIYOGI, 2005).

As clorofilas (*a* e *b*) e os carotenoides são os pigmentos fotossintéticos mais abundantes existentes no planeta. Por sua estrutura química ser instável, as clorofilas são facilmente degradadas, resultando em produtos de decomposição que modificam a percepção e qualidade dos vegetais (GONÇALVES, 2008).

As clorofilas localizam-se nos cloroplastos, sendo esta organela o local no qual se realiza a fotossíntese, a qual possui duas reações importantes: a fotoquímica, nas membranas dos tilacoides e a bioquímica, no estroma do cloroplasto. Tais organelas, além das clorofilas, contêm outros pigmentos denominados acessórios, tais como os carotenoides (LARCHER, 2000; TAIZ; ZEIGER, 2009). Os danos às clorofilas conduzem a disfunção celular, lesões necróticas ou ainda morte celular (FOYER; NOCTOR, 2009; SHARMA et al., 2012). Como consequência, os danos oxidativos traduzem-se nas folhas pelo aparecimento de áreas cloróticas que, em muitos casos, evoluem para necrose e abscisão foliar (CAVATTE et al., 2012).

Os carotenoides constituem outro grande grupo de antioxidantes hidrofóbicos, que se caracterizam por serem constituídos de longas cadeias de hidrocarbonetos com duplas ligações conjugadas (KRINSKY, 1989). Esta propriedade permite a ancoragem nas membranas fosfolipídicas. Também a estrutura dos conjugados permite deslocar elétrons desemparelhados e atuar como doadora de elétrons monovalentes. Essa mesma estrutura conjugada é responsável pela drenagem da energia de ativação do $^1\text{O}_2$ (SUNDQUIST; BRIVIBA; SIES, 1994; KIM et al., 2004; LEDFORD; NIYOGI, 2005). Sendo assim, decréscimo na sua biossíntese poderá causar danos às plantas (HAVAUX; NIYOGI, 1999).

Outros componentes presentes no sistema antioxidante são os aminoácidos, os quais possuem relativamente baixa atividade antioxidante, mas quando presentes em altas concentrações podem contribuir para desintoxicação das EROs. Os exemplos mais destacados são os aminoácidos livres, peptídeos e proteínas. Praticamente todos os aminoácidos podem servir como alvos para ataque oxidativo, porém alguns aminoácidos como triptofano, tirosina, histidina e cisteína são particularmente sensíveis as EROs. Devido ao fato da concentração acumulada de aminoácidos livres ser da ordem de 10^{-1} M, estes são quantitativamente importantes como desintoxicadores de EROs (DRÖGE, 2002).

O aumento nos teores de aminoácidos tem sido relatado em vários trabalhos quando expostos aos agentes de estresse (COOLEY; FOY, 1992; STARRAT; LAZAROVITS, 1996; DRÖGE, 2002). Possíveis explicações sobre os aumentos observados no teor de aminoácidos incluem a inibição da síntese de proteínas, aumento da hidrólise de proteínas, decréscimo do uso de aminoácidos como fonte de carbono respiratório e/ou aumento da biossíntese de aminoácidos (COOLEY; FOY, 1992).

A oxidação mediada pelas espécies reativas de oxigênio de alguns resíduos de aminoácidos como a lisina, arginina e prolina, leva à formação de grupos carbonil (AMICI; LEVINE; STADTMAN, 1989; UCHIDA et al, 2002). Grupos carbonil também podem ser formados como consequência de reações secundárias de cadeias laterais de alguns aminoácidos com produtos de oxidação lipídica, ou açúcares reduzidos ou seus produtos de oxidação (KRISTAL; YU, 1992; BAYNES; THORPE, 1999).

O metabolismo da prolina está envolvido na regulação do potencial redox intracelular e no armazenamento e transferência de energia e poder redutor (SZABADOS; SAVOURÉ, 2010; SHARMA; VILLAMOR; VERSLUES, 2011; GIBERTI; FUNCK; FORLANI, 2014). Alteração no metabolismo da prolina pode ser mais benéfica para a tolerância das plantas ao estresse ambiental do que as propriedades do aminoácido. A biossíntese da prolina ocorre no citoplasma das células vegetais, mas é possível que a produção se desloque para cloroplastos sobre condições de estresse (SZÉKELY et al., 2008), sendo capaz de detoxificar o radical hidroxila (SIGNORELLI et al., 2014).

A prolina tem funções como osmolito, desintoxicador de radicais, dreno de elétrons, estabilizador de macromoléculas e componente da parede celular

(MATYSIK et al., 2002). De acordo as suas propriedades químicas, a prolina pode estar envolvida em estresse provocado por metais, por mecanismos de regulação osmótica e redox, complexação de metais e desintoxicação de EROs (SHARMA; DIETZ, 2006). Este aminoácido é sintetizado à partir de glutamato em três reações exergônicas, consumindo 1 ATP e 2 NADPH. O consumo relativamente elevado de NADPH e o acúmulo de prolina constituem mecanismo de canalização do excesso de elétrons (HELDT, 1997).

O conteúdo de prolina tem sido estudado como resposta de plantas a estresses abióticos. Muitas plantas acumulam prolina em condições de déficit hídrico, salinidade, temperaturas extremas e alguns outros estresses ambientais, especialmente aqueles provocados por metais de transição Cu, Cd e Zn (COSTA; MOREL, 1994; SCHAT; SHARMA; VOOIJS, 1997; CHEN et al., 2001).

Através desses dois sistemas de defesa, as plantas são capazes de perceber os sinais e ativar seu sistema, enzimático e não-enzimático, a fim de eliminar ou reduzir as EROs decorrentes da utilização de herbicidas. O entendimento desses dois mecanismos é crucial para adoção de estratégias de controle, visando o menor estresse das plantas cultivadas.

Além da utilização de herbicidas no manejo da cultura do arroz irrigado, uma prática fundamental é a adubação nitrogenada. O nitrogênio (N) é macronutriente necessário para o crescimento e desenvolvimento das plantas, por exercer importantes funções em processos bioquímicos e por constituir moléculas de proteínas, enzimas, coenzimas, ácidos nucleicos, fitocromos e clorofilas. Em muitos sistemas de produção, a disponibilidade de N é quase sempre fator limitante, influenciando o crescimento das plantas mais do que qualquer outro nutriente (BREDEMEIER; MUNDSTOCK, 2000). Sendo ele essencial para o crescimento das plantas, pode acelerar a recuperação dessas sob efeito tóxico de herbicida.

Alguns tipos de manejo podem afetar a intensidade da fitotoxicidade causada pelo herbicida, dentre eles, a época da adubação nitrogenada. Além do efeito sobre a fitotoxicidade, a época de adubação nitrogenada pode afetar o aproveitamento dos nutrientes pela planta, sendo que a eficiência de absorção de fertilizantes pode variar entre 10 a 80%, dependendo do manejo de irrigação (FAGERIA; BARBOSA FILHO, 2001). Essa grande variação na absorção de N se deve aos mecanismos de perda deste nutriente que operam no solo inundado. Além disso, a maior seletividade do herbicida está ligada a esses fatores do manejo, pois

a melhor eficiência de absorção de nitrogênio garante maior recuperação de eventual fitotoxicidade causada pelo agente químico.

A época da adubação pode influenciar no comportamento das plantas de arroz quando a seletividade do herbicida está relacionada à menor translocação do herbicida comparado com a planta daninha. O suprimento do nitrogênio antes da aplicação do herbicida pode provocar aumento da translocação e ocasionar maiores injúrias na cultura. A adubação nitrogenada quando aplicada quatro dias antes e no mesmo dia da aplicação de clefoxydim reduziram o porte das plantas de arroz (FERREIRA et al., 2002). Já, na cultura do milho, não se observaram diferenças na fitotoxicidade em função das épocas de aplicação de nitrogênio em relação à aplicação dos herbicidas (NICOLAI et al., 2006). Contudo, a fitotoxicidade depende da interação entre época de aplicação de nitrogênio, herbicidas e a cultura.

O nitrogênio, além de ser um nutriente essencial para o crescimento das plantas de arroz pode acelerar a recuperação dessas sob efeito tóxico do herbicida. A hipótese do trabalho foi que a aplicação de herbicidas resulta em alteração no metabolismo de plantas de arroz, ocasionando estresse oxidativo e que a época correta de aplicação de nitrogênio reduz a fitotoxicidade causada pela aplicação de herbicida. Assim, o objetivo da pesquisa foi verificar possíveis alterações no metabolismo das plantas e na qualidade fisiológica das sementes em resposta ao estresse oxidativo causado por herbicidas e avaliar a recuperação da fitotoxicidade através da adubação nitrogenada.

2 CAPÍTULO I – Alterações fisiológicas em plantas de arroz submetidas a aplicação de herbicidas pré e pós-emergentes

2.1 Introdução

O arroz (*Oryza sativa*) é o terceiro cereal mais produzido no mundo e considerado alimento básico para mais da metade da população mundial (FAO, 2015), constituindo-se fonte energética e proteica na dieta humana. O Brasil apresenta-se como um dos principais produtores, produzindo cerca de 13 milhões de toneladas, sendo o Estado do Rio Grande do Sul responsável por mais de 70% da produção (CONAB, 2015).

Mesmo o Brasil sendo um dos principais produtores mundiais do cereal, o patamar de produtividade considerado ideal para a cultura ainda não foi atingido, principalmente em função de práticas de manejo que podem ser melhoradas. Dentre elas, pode-se citar o manejo da água de irrigação, fertilidade, qualidade de sementes, sistematização das áreas e manejo fitossanitário. Problemas no manejo da cultura, como infestação por plantas daninhas que competem diretamente por recursos do ambiente como luz, nutrientes e CO₂, levam a redução na produtividade de grãos (ANDRES; MACHADO, 2004). Visando reduzir essas perdas, os agricultores têm adotado diversos métodos de manejo, em que a utilização de herbicidas para o controle de plantas daninhas tem sido o método mais utilizado.

Um dos inconvenientes da aplicação de herbicidas é a possibilidade dos mesmos causarem fitotoxicidade à cultura. Mesmo que determinado ingrediente ativo (i.a.) seja seletivo à cultura e não cause severas injúrias às plantas, alterações fisiológicas e bioquímicas podem ocorrer (SONG et al., 2007). Sabe-se que alguns produtos podem reduzir a produtividade das culturas sem causar efeitos visualmente detectáveis, enquanto outros provocam injúrias acentuadas, mas permitem a

recuperação plena da cultura (FERREIRA et al., 2005).

A formação de espécies reativas de oxigênio (EROs) tem sido descrita como consequência de vários estresses abióticos, dentre eles a aplicação de herbicidas (WU; VON TIEDEMANN, 2002; PEIXOTO et al., 2006; SONG et al., 2007). Embora as EROs sejam produtos inevitáveis do metabolismo vegetal, em condições normais, a sua produção e remoção está em equilíbrio (MITTLER, 2002). Entretanto, em condições de estresse, a produção de EROs pode superar os mecanismos de remoção desencadeando o estresse oxidativo (ESFANDIARI; SHOKRPOUR; ALAVI-KIA, 2010). A produção excessiva de EROs nas células vegetais é prejudicial para os ácidos nucléicos, proteínas e lipídeos (GILL; TUTEJA, 2010). Além disso, a alteração do estado redox pode causar danos ao aparato fotossintético através da fotoinibição, resultando em injúria celular e clorose (VAN BREUSEGEM et al., 2001), que podem ser diferentes entre genótipos.

Ao longo do tempo as plantas desenvolveram várias estratégias de proteção para minimizar a toxicidade do herbicida. Um dos mecanismos de proteção é o sistema antioxidante enzimático, o qual opera com ações sequenciais e simultâneas de várias enzimas incluindo superóxido dismutase (SOD), ascorbato peroxidase (APX) e catalase (CAT). A SOD ocorre em diversos compartimentos celulares e catalisa a dismutação do ânion superóxido em peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e oxigênio molecular (O_2) (GILL; TUTEJA, 2010). O H_2O_2 , por sua vez é removido por várias outras enzimas antioxidantes, tais como CAT e APX (FOYER; NOCTOR, 2000). A eliminação de espécies reativas de oxigênio é necessária para que as células sobrevivam em ambiente rico em oxigênio, especialmente sob condições de estresse (FOYER; NECTOR, 2000).

No sistema antioxidante não enzimático estão presentes os compostos fenólicos, o ácido ascórbico, a glutathiona (GSH), as clorofilas, os carotenoides, as proteínas e os aminoácidos. Presentes na gama de compostos antioxidantes não enzimáticos, carotenoides são pigmentos responsáveis pela fotoproteção das membranas fotossintéticas, atuando como pigmentos acessórios. Atuam também na dissipação do estado excitado da clorofila e neutralização de EROs, uma vez que são antioxidantes de baixo peso molecular (KRESLAVSKI et al., 2013; SHARMA et al., 2012). Dentre os aminoácidos destaca-se o papel fundamental da prolina na resposta das plantas ao estresse oxidativo, o qual tem sido demonstrado em experimentos em que se aplicou prolina exógena (HOQUE et al., 2007; OZDEN;

DEMIREL; KAHRAMAN, 2009) ou em que a síntese ou degradação da prolina foi geneticamente manipulada (HONG et al., 2000; KOCSY et al., 2005; MOLINARI et al., 2007).

A partição entre estes dois sistemas sob condições de estresse pode ser regulada pela concentração de oxigênio no sistema (BLOKHINA et al., 2003). O sistema antioxidante celular funciona como sensor de acumulação de EROs (SRIVALLI; VISHANATHAN; RENU, 2003), e qualquer perturbação do equilíbrio entre a formação e a eliminação de EROs afeta a homeostase redox. A atividade de enzimas antioxidantes é frequentemente utilizada como biomarcador para vários estresses abióticos (FOYER; NOCTOR, 2000; SONG et al., 2007; ZHOU; LAM; ZHANG, 2007). Diante disso, o objetivo do estudo foi avaliar as alterações morfológicas, dos parâmetros fotossintéticos, danos oxidativos, atividade das enzimas antioxidantes e alterações do metabolismo de plantas de arroz após a aplicação de herbicidas.

2.2 Material e Métodos

Foram realizados dois experimentos conduzidos em casa de vegetação pertencente ao Centro de Herbologia/CEHERB da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel/FAEM – Universidade Federal de Pelotas/UFPel, em delineamento experimental completamente casualizado, com quatro repetições.

No primeiro experimento os tratamentos foram compostos da aplicação de diferentes herbicidas pré-emergentes: oxifluorfem (960 g ia ha^{-1}), oxadiazona ($1000 \text{ g ia ha}^{-1}$) e pendimetalina ($1600 \text{ g ia ha}^{-1}$), além de testemunha sem aplicação. Para o segundo experimento os tratamentos constaram da aplicação de herbicidas pós-emergentes: imazapique + imazapir ($24,5 + 73,5 \text{ g ia ha}^{-1}$), quincloraque (375 g ia ha^{-1}), bentazona (960 g ia ha^{-1}), cialofope-butílico (315 g ia ha^{-1}), penoxsulam (60 g ia ha^{-1}), bispiribaque-sódico (50 g ia ha^{-1}) e carfentrazone-etílica (200 g ia ha^{-1}), além de testemunha sem aplicação.

Para ambos experimentos, a cultivar utilizada foi a Puitá INTA-CL, em população de seis plantas por unidade experimental, sendo estas constituídas por vaso com capacidade volumétrica de três litros, preenchido com solo oriundo de lavoura orizícola classificado como Planossolo Hidromórfico eutrófico solódico, pertencente à Unidade de Mapeamento Pelotas (EMBRAPA, 2013). A aplicação dos

herbicidas pré-emergentes foi realizada um (1) dia após a semeadura e dos herbicidas pós-emergentes quando as plantas estavam em estágio V4. Para ambas os casos, utilizou-se pulverizador costal pressurizado com CO₂ e barra com quatro bicos Teejet 110.015, tipo leque, espaçados de 0,5 m, com volume de calda de 120 L ha⁻¹.

A variável fitotoxicidade foi avaliada aos oito (8) dias após a emergência (DAE) para o primeiro experimento e 120 horas após a pulverização dos tratamentos (HAP) para o segundo experimento. A avaliação de estatura se deu aos oito e 12 DAE para o primeiro experimento e as 120 HAP para o segundo experimento. A avaliação de fitotoxicidade foi realizada através de notas visuais seguindo escala de zero (0) a 100, onde zero significou a ausência de sintomas e 100 a morte das plantas (FRANS et al., 1986). A estatura foi mensurada com auxílio de régua graduada, medindo-se todas as plantas da unidade experimental tomando-se seu comprimento desde o nível do solo até o ápice, com o limbo foliar distendido.

As avaliações fisiológicas relacionadas à fotossíntese líquida, taxa de transpiração, condutância estomática, concentração de CO₂ subestomática foram realizadas aos 12 DAE para o primeiro experimento e as 120 HAP para o segundo experimento. Para isso foi utilizado o terço médio da última folha completamente expandida e a avaliação realizada com a utilização do analisador de gases no infravermelho (IRGA), marca LI-COR, modelo LI-6400. Foram calculadas a eficiência da carboxilação, pela relação fotossíntese líquida/concentração de CO₂ subestomática e eficiência do uso da água pela relação fotossíntese líquida/taxa de transpiração.

Para ambos os experimentos, amostras foliares foram coletas e armazenadas a -80°C até o momento das análises de atividade enzimática, danos oxidativos e dos metabólitos secundários. As coletas foram realizadas aos oito e 12 DAE para o experimento testando os herbicidas pré-emergentes e as 24 e 120 HAP para o experimento constituído pelos herbicidas pós-emergentes. As variáveis analisadas foram: teor de clorofilas e carotenoides, teor de peróxido de hidrogênio, peroxidação lipídica, teor de proteínas totais, atividade das enzimas catalase, ascorbato peroxidase e supróxido dismutase e teor de prolina.

Os teores de clorofilas e de carotenoides totais foram determinados segundo metodologia descrita por Arnon (1949), como modificações. Amostras de 0,1 g foram maceradas em almofariz em presença de 5 mL de acetona a 80% (v/v). O material

foi centrifugado a 12.000 *rpm* por 10 minutos, completando-se o volume para 20 mL com acetona a 80% (v/v). Os teores de clorofila *a*, *b*, totais e carotenoides totais foram calculados pelo uso das fórmulas de Lichtenthaler (1987) a partir da absorbância da solução obtida por espectrofotometria a 647, 663 e 470 nm, sendo os resultados expressos em mg g⁻¹ de massa fresca (MF).

Os danos celulares nos tecidos foram determinados em termos de teor de peróxido de hidrogênio (H₂O₂), conforme descrito por Sergier, Alexieva e Karanov (1997) e das espécies reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS), via acúmulo de aldeído malônico (MDA), conforme descrito por Heath e Packer (1968). Para a realização dessas duas análises, 0,2 g de folhas foram macerados com nitrogênio líquido, homogeneizados em 2 mL de ácido tricloroacético (TCA) 0,1% (*m/v*) e centrifugados a 14000 *rpm* por 20 minutos. Para a quantificação de H₂O₂, alíquotas de 0,2 mL do sobrenadante foram adicionadas em 0,8 mL de tampão fosfato 10 mM (pH 7,0) e 1 mL de iodeto de potássio 1M seguido de agitação em vortex. A solução foi mantida em repouso por 10 minutos em temperatura ambiente e após a absorbância foi lida a 390 nm. A concentração de H₂O₂ foi determinada através de curva padrão com concentrações conhecidas de H₂O₂ e expressa em mM g⁻¹ de MF. Para a determinação de TBARS, alíquotas de 0,5 mL do sobrenadante descrito anteriormente foram adicionadas a 1,5 mL de ácido tiobarbitúrico (TBA) 0,5% (*m/v*) e ácido tricloroacético 10% (*m/v*) e incubadas a 90°C por 20 minutos. A reação foi paralisada em banho de gelo por 10 minutos. Em seguida foi determinada a absorbância a 532 nm, descontando-se a absorbância inespecífica a 600 nm. A concentração de MDA foi calculada utilizando-se o coeficiente de absorvidade de 155 mM cm⁻¹ e os resultados expressos em nM MDA g⁻¹ de MF.

Para a determinação da atividade das enzimas antioxidantes, superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e ascorbato peroxidases (APX), primeiramente foi realizada a extração em que onde 0,2 g de amostra foram maceradas em almofariz de porcelana, na presença de nitrogênio líquido. Em seguida foram adicionados 900 µL de tampão fosfato 200 mM (pH 7,8), 18 µL de EDTA 10 mM, 180 µL de ácido ascórbico 200 mM e 702 µL de água ultrapura e centrifugado a 14000 *rpm*, a 4°C por 20 minutos. A partir deste extrato foi quantificada a proteína das amostras pelo método de Bradford (1976), onde 60 µL do extrato foram adicionados a 2 mL de solução de Bradford, e realizada leitura da absorbância no comprimento de onda de

595 nm. Os resultados foram calculados em função da curva padrão de caseína e expressos em miligramas de proteína por mL ($\text{mg caseína mL}^{-1}$).

A atividade da SOD foi determinada segundo metodologia adaptada de Peixoto (1999) a partir Del Longo (1993) e Giannopolitis e Ries (1977). Por esse método, foi determinada a inibição da redução do NBT (p-nitro blue tetrazolium) pelo extrato enzimático evitando assim a formação do cromóforo. Neste ensaio, uma unidade de atividade enzimática (UA) de SOD foi considerada como a quantidade de enzima necessária para obter 50% de inibição da redução do NBT pela SOD contida no extrato enzimático. Para a reação foi adicionado o extrato enzimático em tubo de ensaio contendo 1 mL de tampão fosfato de potássio 100 mM (pH 7,8), 400 μL de metionina 70 mM, 20 μL de EDTA 10 μM , 390 μL de água ultrapura, 150 μL de NBT 1 mM e 20 μL de riboflavina 0,2 mM. Em seguida os tubos foram incubados em lâmpada fluorescente de 15 Watts durante 10 minutos e em seguida realizada a leitura da absorbância a 560 nm. Para efeito de cálculo, o branco da reação foi considerado como sendo os tubos que não continham extrato, exposto e não exposto à luz. A atividade foi determinada pelo cálculo da quantidade de extrato que inibe 50 % da reação de NBT e expressa em $\text{UA mg}^{-1} \text{ proteína minuto}^{-1}$.

A atividade da CAT foi determinada segundo metodologia descrita por Azevedo et al. (1998), pelo consumo de H_2O_2 (coeficiente de extinção $39,4 \text{ mM cm}^{-1}$). O extrato foi adicionado a 1 mL de tampão fosfato de potássio 200 mM (pH 7,0), 850 μL de água ultrapura, 100 μL de peróxido de hidrogênio 250 mM. A leitura da absorbância em espectrofotômetro (Ultrospec 6300 Pro UV/Visível – Amersham Bioscience) no comprimento de onda de 240 nm foi realizada durante 90 segundos com leituras no intervalo de 7 segundos.

A atividade da APX foi determinada segundo metodologia descrita por Azevedo et al. (1998), pelo consumo de H_2O_2 (coeficiente de extinção $2,9 \text{ mM cm}^{-1}$). O extrato foi adicionado a 1 mL de tampão fosfato de potássio 200 mM (pH 7,0), 750 μL de água ultrapura, 100 μL de ácido ascórbico 10 mM, 100 μL de peróxido de hidrogênio. A leitura da absorbância no comprimento de onda de 290 nm foi realizada durante 90 segundos com leituras em intervalos de 7 segundos. Tanto para a atividade da CAT quanto para da APX, para efeito de cálculo, foi considerado que o decréscimo de uma unidade de absorbância é equivalente a uma unidade ativa (UA). As atividades do extrato total foram determinadas pelo cálculo da

quantidade de extrato que reduziu a leitura de absorbância em uma UA e expressos em UA mg^{-1} proteína minuto^{-1} .

O teor de prolina foi determinado segundo metodologia descrita por Bates, Waldren e Teare (1973), com modificações. Para isso macerou-se 0,2 g de tecido vegetal em nitrogênio líquido e adicionou-se 2 mL de ácido sulfossalicílico 3% (m/v). Centrifugou-se a 10000 rpm por 10 min a temperatura ambiente. Coletou-se 1 mL do sobrenadante no qual adicionou-se 1 mL de ninhidrina ácida (1,25 g de ninhidrina; 30 ml de ácido acético glacial; 20 ml de ácido fosfórico 6M) e 1 mL de ácido acético glacial. Incubou-se a 95 graus por 1 hora e em seguida resfriou-se em banho de gelo por 10 minutos. Acrescentou-se 3 mL de tolueno, agitou-se em vortex e coletou-se apenas a fase superior da amostra para leitura da absorbância a 520 nm. Os resultados foram expressos em μmol de prolina g^{-1} MF, através da elaboração de curva padrão de prolina com concentrações conhecidas.

Os dados foram analisados quanto à normalidade e homocedasticidade e posteriormente submetidos à análise de variância ($p \leq 0,05$). Em sendo constatada significância estatística, os efeitos dos herbicidas foram avaliados pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$) separadamente para cada experimento. A presença de correlações entre as variáveis dependentes do estudo foi analisada através do coeficiente de correlação de Pearson ($p \leq 0,05$), o qual mede o grau da correlação entre duas variáveis. O coeficiente de correlação Pearson (r) varia de -1 a 1, o sinal indica direção positiva ou negativa do relacionamento e o valor sugere a força da relação entre as variáveis.

2.3 Resultados e Discussão

Foi verificada significância estatística dos tratamentos para as variáveis fitotoxicidade e estatura, em ambos os experimentos (tab.1 e 2). Em relação às variáveis fisiológicas, no experimento um, foi verificada significância estatística das variáveis: fotossíntese líquida, concentração de CO_2 subestomática, taxa de transpiração, eficiência do uso da água e eficiência da carboxilação para o fator estudado (tab.3). No segundo experimento, observou-se significância estatística dos tratamentos para as variáveis: fotossíntese líquida, concentração de CO_2 subestomática, condutância estomática, eficiência do uso da água e da carboxilação (tab.4).

Para o primeiro experimento a maior fitotoxicidade e redução de estatura foi observada quando as plantas foram submetidas ao tratamento com oxifluorfem seguidos de oxadiazona e pendimetalina (tab.1). Resultados semelhantes foram observados por Borja Reis et al. (2012) os quais observaram que a aplicação de oxifluorfem influenciou negativamente no desenvolvimento inicial da cultura de arroz irrigado. O oxifluorfem é indicado para o controle de plantas daninhas, em aplicações de pré ou pós-emergência inicial (AGROFIT, 2014), sendo que sua ação causa a inibição da enzima protoporfirinogênio oxidase, presente nos cloroplastos, causando o aparecimento de precursores da clorofila que, na presença de luz, são convertidos em moléculas que atuam nas membranas celulares da planta, levando à necrose e à morte (GONÇALVES, 2009).

Tabela 1 – Fitotoxicidade (%) aos oito dias após a emergência (DAE) e estatura (cm) aos oito e 12 DAE de plantas de arroz submetidas à aplicação de herbicidas pré-emergentes. FAEM/UFPel, Capão do Leão/RS, 2013.

Tratamento	Fitotoxicidade (%)	Estatura (cm)	
		8 DAT	12 DAT
Testemunha	0 c ¹	16,9 a	19,2 a
Oxifluorfem	35,5 a	8,4 c	12,9 b
Oxadiazona	16,7 b	12,4 b	16,0 ab
Pendimetalina	14,0 b	13,3 b	15,1 ab
CV (%)	27,4	14,8	16,9

¹ médias seguidas por letras distintas na coluna diferem pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$).

No segundo experimento os herbicidas imazapir+imazapique e carfentrazone-etílica diferiram da testemunha, observando-se maiores sintomas nas plantas tratadas com carfentrazone-etílica (tab.2). As plantas submetidas à aplicação de quincloraque, bispiribaque-sódico e carfentrazone-etílica apresentaram redução na estatura.

Atualmente os herbicidas mais utilizados na cultura do arroz irrigado são aqueles cujos mecanismos de ação envolvem a inibição da enzima ALS e ACCase. Os resultados demonstram que os herbicidas pertencentes a esses mecanismos de ação, em geral, provocaram pouca injúria em relação à morfologia e sintomatologia da cultura do arroz, evidenciando sua alta seletividade à cultura.

Tabela 2 – Fitotoxicidade (%) e estatura (cm) de plantas de arroz submetidas a aplicação de herbicidas pós-emergentes 120 horas após a pulverização (HAP). FAEM/UFPel, Capão do Leão/RS, 2013.

Tratamento	Fitotoxicidade (%)	Estatura (cm)
Testemunha	0 c ¹	24,9 ab
Imazapir + Imazapique	3,0 b	21,8 bc
Quincloraque	2,5 bc	18,9 cde
Bentazona	2,2 bc	22,8 ab
Cialofope-butílico	2,7 bc	21,4 bcd
Penoxsulam	2,5 bc	26,2 a
Bispiribaque-sódico	2,7 bc	18,2 de
Carfentrazone-etílica	78,0 a	17,8 e
CV (%)	14,8	10,27

¹ Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$).

Observou-se redução da taxa fotossintética e na eficiência da carboxilação, em relação à testemunha, quando aplicado os herbicidas oxifluorfem e pendimetalina (tab.3). O herbicida pendimetalina também causou efeito na concentração de CO₂ subestomática, taxa de transpiração e eficiência do uso da água. Já, o herbicida oxadioazona somente diferiu da testemunha para a variável eficiência do uso da água.

O oxifluorfem é inibidor da protoporfirinogênio oxidase (PROTOX) e por ter efeito direto na rota de síntese de clorofilas, pode interferir na fotossíntese. As moléculas de clorofilas são os principais pigmentos responsáveis pela captura de luz para as reações fotoquímicas, presentes nos centros de reação dos fotossistemas (TAIZ; ZEIGER, 2009) e, conseqüentemente, o declínio desses compostos podem comprometer a atividade fotossintética, prejudicando o desenvolvimento das plantas. A taxa de fotossíntese normalmente diminui durante a exposição a várias fontes de estresse em plantas superiores (CHAVES; FLEXAS; PINHEIRO, 2009). A principal razão é o fechamento estomático, o que leva à diminuição da concentração interna de CO₂ (CORNIC, 2000), e pode levar a transferência de elétrons para o O₂ sendo uma das principais causas da produção de EROs (RODZIEWICZ et al., 2014). O herbicida oxadiazona também é inibidor da PROTOX, no entanto, as plantas

apresentam seletividade diferencial mesmo dentro do mesmo grupo de herbicidas, podendo ser mais suscetíveis ou tolerantes a um determinado produto.

Tabela 3 – Fotossíntese líquida (A) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), concentração de CO_2 subestomática (Ci) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$), taxa de transpiração (E) ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), eficiência do uso da água (EUA) ($\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$) e eficiência da carboxilação (CE) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) em plantas de arroz submetidas à aplicação de herbicidas pré-emergentes, avaliadas aos 12 dias após a emergência (DAE). FAEM/UFPel, Capão do Leão/RS, 2013.

Tratamento	A	Ci	E	EUA	CE
Testemunha	12,5 a ¹	327 b	6,7 b	1,86 a	0,038 a
Oxifluorfem	7,9 b	333 ab	5,4 b	1,46 ab	0,024 b
Oxadiazona	10,5 ab	340 ab	6,9 b	1,52 bc	0,030 ab
Pendimetalina	8,2 b	345 a	9,1 a	0,90 c	0,024 b
CV (%)	19,7	2,8	18,1	20,8	31,1

¹ médias seguidas por letras distintas na coluna diferem pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$).

A maior concentração de CO_2 subestomática, verificada para o herbicida pendimetalina (tab.3), pode estar atrelada ao menor consumo de CO_2 em plantas tratadas com o herbicida. Essa variável pode ser influenciada pela aplicação de herbicidas e fatores ambientais, como disponibilidade hídrica, luz e energia (OMETTO et al., 2003). Resultados semelhantes foram observados por Corniani et al. (2006), os quais observaram que plantas de girassol submetidas a estresse apresentaram redução na taxa fotossintética e aumento na concentração de CO_2 subestomática. Ainda, a resposta das plantas de arroz após a aplicação do herbicida pendimetalina indicou incremento na taxa de transpiração, provavelmente devido ao aumento da atividade metabólica e ligada aos processos de detoxificação, inativação ou compartimentalização do herbicida (AHSAN et al., 2008).

Como consequência da utilização de pendimetalina houve redução na eficiência do uso da água e da carboxilação (tab.3). A redução destas variáveis está atrelada a menor assimilação de CO_2 resultando em menor atividade fotossintética. Sugere-se que em situação de estresse causada pelo herbicida, o CO_2 disponível não é convertido eficientemente em produtos fotossintéticos, aumentando sua

concentração na cavidade subestomática.

Para os herbicidas aplicados em pós-emergência, verificou-se menor fotossíntese líquida e maior concentração de CO_2 subestomática nas plantas tratadas com carfentrazona-etílica (tab.4). Maiores concentrações de CO_2 na cavidade subestomática sugere que as plantas não estão sendo capazes de assimilar o CO_2 disponível e converter em produtos mais energéticos. A maior concentração de CO_2 resulta em bloqueio da cadeia transportadora de elétrons e, conseqüentemente, na interrupção da produção de ATP e NADPH, que são usados como fonte de energia para a fixação do CO_2 (WELLER, 2003). Acredita-se que nesse caso, a maior concentração de CO_2 subestomática deu-se em função do fechamento estomático em resposta a aplicação do herbicida.

O fechamento dos estômatos está diretamente relacionado com a fixação de carbono e conseqüentemente com a produção de biomassa da planta (GONÇALVES et al., 2013). Além disso, os resultados obtidos podem estar atrelados ao mecanismo de ação do herbicida carfentrazona-etílica, que atua inibindo a enzima PROTOX e conseqüentemente a síntese de clorofila, podendo comprometer a fotossíntese, o que resulta na redução da capacidade da planta em aproveitar os recursos do ambiente (PIESANTI et al., 2012).

A condutância estomática também foi reduzida em função da aplicação de carfentrazona-etílica (tab.4). O controle estomático é importante propriedade por meio da qual as plantas limitam a perda de água, afetando as trocas gasosas. Essa característica pode sofrer influência de diversos fatores, incluindo o estresse (PAIVA et al., 2005), podendo ser indicativo da menor eficiência fotossintética.

A eficiência do uso da água e da carboxilação foram reduzidas nas plantas submetidas à aplicação de carfentrazona-etílica, de modo semelhante ao verificado nas demais variáveis (tab.4). Tais resultados são decorrentes das alterações na fotossíntese líquida e na concentração de CO_2 subestomático. Isso indica que, a cultura quando submetida ao estresse pelo herbicida, apresentou menor eficiência na absorção e fluxo de água pela corrente transpiratória, além da maior transpiração durante os períodos de abertura estomática, resultando na redução dos valores das variáveis.

Tabela 4 - Fotossíntese líquida (A) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (Gs) ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), concentração de CO_2 subestomática (Ci) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$), eficiência do uso da água (EUA) ($\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$) e eficiência da carboxilação (CE) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de plantas de arroz submetidas à aplicação de herbicidas pós-emergentes, avaliadas 120 horas após a pulverização (HAP). FAEM/UFPel, Capão do Leão/RS, 2013.

Tratamento	A	Gs	Ci	EUA	CE
Testemunha	9,9 a ¹	0,42 a	331 b	1,35 a	0,029 a
Imazapir + Imazapique	12,4 a	0,44 a	332 b	1,32 a	0,037 a
Quincloraque	12,3 a	0,44 a	334 b	1,28 a	0,036 a
Bentazona	11,1 a	0,41 ab	341 b	1,08 a	0,032 a
Cialofope-butilico	11,1 a	0,40 ab	342 b	1,43 a	0,033 a
Penoxsulam	10,1 a	0,38 ab	336 b	1,20 a	0,030 a
Bispiribaque-sódico	9,6 a	0,36 ab	335 b	1,16 a	0,028 a
Carfentrazone-etílica	1,7 b	0,27 b	378 a	0,13 b	0,002 b
CV (%)	3,5	19,0	1,8	34,2	25,7

¹ médias seguidas por letras distintas na coluna diferem pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$).

A eficiência do uso da água está diretamente relacionada ao tempo de abertura estomática, pois, enquanto a planta absorve o CO_2 necessário para fotossíntese, perde água devido a transpiração com intensidade variável, seguindo a corrente de potenciais hídricos (CONCENÇO et al., 2007). Além disso, os menores valores de eficiência da carboxilação obtidos para carfentrazone-etílica sugerem que o CO_2 disponível não está sendo eficientemente convertido em açúcares.

Desse modo, de acordo com os resultados obtidos nesse estudo, a aplicação de carfentrazone-etílica reduziu a fotossíntese líquida, condutância estomática, eficiência da carboxilação e do uso da água em 83, 38, 93 e 91%, respectivamente, em relação às plantas não tratadas com herbicida, enquanto que, a concentração de CO_2 subestomática aumentou 14% (tab. 4). Os demais herbicidas não provocaram alterações nas variáveis relacionadas ao aparato fotossintético, sugerindo assim maior seletividade à cultura do arroz irrigado. A não alteração das variáveis fotossintética também pode ser em função da época de avaliação, já que herbicidas seletivos possuem menos velocidade de ação, sendo necessárias avaliações em períodos posteriores ao utilizado. Os resultados obtidos para as

variáveis relacionadas a fotossíntese corroboram com os obtidos para fitotoxicidade, onde observou-se que ao passo que aumentou a fitotoxicidade causada pelos herbicidas também houve redução na fotossíntese líquida, condutância estomática, eficiência do uso da água e da carboxilação.

A análise das variáveis metabólicas no primeiro experimento, não evidenciou significância estatística para as variáveis: teor de clorofila *a*, clorofila *b*, clorofila total, carotenoides e relação A/B (dados não apresentados). Por outro lado, verificou-se significância estatística dos tratamentos para as variáveis peroxidação lipídica, atividade da SOD e da CAT, teor de proteínas e teor de prolina (tab.5) aos oito dias após a emergência (DAE). Quando avaliadas as plantas aos 12 DAE, observou-se significância estatística para as seguintes variáveis: peroxidação lipídica, teor de peróxido de hidrogênio e atividade da APX (tab.6).

A maior peroxidação lipídica, tanto aos oito quanto aos 12 DAE foi observada para o herbicida oxifluorfem (tab.5 e 6). Este herbicida inibe a protoporfirinogênio oxidase (PROTOX, EC 1.3.3.4), enzima localizada na membrana interna do cloroplasto, responsável pela oxidação da protoporfirinogênio IX em protoporfirina IX, estabelecendo um sistema conjugado de duplas ligações. Compostos como difenil-éteres, triazolinonas, *n*-fenil-ftalimidas e oxadiazol são exemplos de grupos químicos inibidores desta enzima (WAKABAYASHI; BOGER, 1999; ROMAN, 2007). Com a inibição da PROTOX, a protoporfirinogênio IX se acumula no cloroplasto e difunde-se para o citosol, onde sofre auto-oxidação, convertendo-se a protoporfirina IX por ação de enzima citosólica insensível ao inibidor (JACOBS et al., 1991). A protoporfirina IX interage com oxigênio molecular e luz, formando oxigênio singleto que, por sua vez, desencadeiam processos oxidativos como a peroxidação de lipídeos das membranas (DUKE; KENYON, 1986; JACOBS et al., 1991; JACOBS; JACOBS, 1993; HESS, 2000; CHRISTOFFOLETI, 2004; ROMAN, 2007; TRIPATHY; MOHAPATRA., 2007), acelerando o processo de estresse oxidativo.

A peroxidação de lipídios gera o aldeído malônico (MDA), produto da decomposição de ácidos graxos das biomembranas, sendo que o acúmulo deste é uma forma de atestar a presença de radicais livres e estresse oxidativo (LIU et al., 2009; FAHEED, 2012). A peroxidação lipídica é uma das consequências mais investigadas das ações das EROs nas estruturas das membranas, sendo uma das primeiras respostas aos danos induzidos pelo estresse nos tecidos das plantas

(AMRI; SHAHSAVAR, 2010). A peroxidação de lipídios representa a última etapa e a ação física propriamente dita dos herbicidas relacionados direta ou indiretamente à fotossíntese.

Tabela 5 - Peroxidação lipídica em termos das espécies reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) (nM MDA g⁻¹ de MF), atividade da superóxido dismutase (SOD) (UA mg⁻¹ proteína minuto⁻¹), atividade da catalase (CAT) (UA mg⁻¹ proteína minuto⁻¹), teor de proteína (PROT) (mg caseína g⁻¹ MF) e teor de prolina (PROL) (mg prolina g⁻¹ MF) em plantas de arroz submetidas à aplicação de herbicidas pré-emergentes, avaliadas aos oito dias após a emergência (DAE). FAEM/UFPel, Capão do Leão/RS, 2013/14.

Tratamento	TBARS		SOD		CAT		PROT		PROL	
Testemunha	12,78	b ¹	1,93	c	0,157	a	20,97	a	0,194	ab
Oxifluorfem	22,29	a	3,58	a	0,124	b	14,77	b	0,238	a
Oxadiazona	13,75	b	2,65	b	0,158	a	21,42	a	0,167	b
Pendimetalina	12,99	b	2,29	bc	0,144	ab	21,71	a	0,191	ab
CV (%)	15,7		15,7		11,8		8,5		14,8	

¹ médias seguidas por letras distintas na coluna diferem pelo teste de Duncan (p≤0,05).

Em estudo semelhante, observou-se que plantas de soja tratadas com oxifluorfem apresentaram valores de aldeído malônico de até duas vezes em relação à testemunha (CATANEO et al., 2010). Além disso, a peroxidação lipídica poderia ter danificado o cloroplasto, inibindo a síntese de clorofila e, conseqüentemente, a fotossíntese (ELLA; KAWANO; ITO, 2003). Esperava-se que o herbicida oxifluorfem provocaria alteração no conteúdo de clorofilas. Essa hipótese é baseada no mecanismo de ação do herbicida, que inibe a enzima PROTOX, envolvida na rota de síntese de clorofilas nas plantas. Assim, é possível inferir que, no caso desse experimento, o fato da aplicação ter sido realizada em pré-emergência provocou adaptação das plantas em relação à produção desses pigmentos receptores de luz.

Como consequência da peroxidação lipídica, a funcionalidade e integridade celular podem ser afetadas negativamente, causando danos irreversíveis à célula. Isso ocorre como resultado do aumento da permeabilidade da membrana plasmática, que provoca o extravasamento de íons K⁺ e outros solutos (CHAOUI et

al., 1997), enquanto que os danos às membranas intracelulares podem afetar a atividade respiratória nas mitocôndrias e a fotossíntese nos cloroplastos (SCANDALIOS, 2005).

Os herbicidas oxifluorfem e oxadiazona também resultaram em maior atividade da SOD comparado à testemunha (tab.5). A fim de manter as EROs sob controle, as plantas exibem equilíbrio entre EROs e sistema antioxidante. O aumento da atividade da SOD pode ser uma das possíveis razões para maior peroxidação lipídica em plantas tratadas com oxifluorfem, pois ao passo que aumenta a atividade da SOD ocorre também o aumento dos teores de peróxido de hidrogênio. No entanto, no presente estudo é provável que a peroxidação lipídica tenha sido causada em função de outras EROs, já que não se observou aumento dos teores de H_2O_2 . A SOD, considerada a primeira linha de defesa contra os danos causados pelas EROs, catalisa a conversão do ânion superóxido ($O_2^{\cdot-}$) a H_2O_2 e O_2 nos cloroplastos, mitocôndrias, citoplasmas e peroxissomos (WANG et al., 2012) e desta forma interfere na concentração das EROs envolvidas na reação de Haber-Weiss para a produção do radical hidroxila ($\cdot OH$). Dessa forma, desempenha papel fundamental do mecanismo central de defesa dos organismos (LEÓN et al., 2002), evitando a dessa EROs que não apresenta mecanismo de inativação.

As enzimas do sistema antioxidante não eliminam o $\cdot OH$ diretamente, de modo que a regulação de seus precursores, $O_2^{\cdot-}$ e H_2O_2 , é o passo fundamental na prevenção dos riscos do $\cdot OH$, reunindo a ação das enzimas SOD, APX e CAT (BHATTACHARJEE, 2010; MYLONA; POLIDOROS, 2010). Dessa forma, a combinação eficiente da SOD, CAT e APX minimizaria os efeitos do estresse oxidativo, apresentando papel importante na regulação das EROs (DAMANIK et al., 2012).

A aplicação de oxifluorfem resulta em menor atividade da CAT (tab.5), podendo ser devido ao baixo conteúdo de H_2O_2 produzido nessa época de avaliação. A CAT, juntamente com a APX, atua na remoção do peróxido de hidrogênio resultante da atividade da SOD, convertendo-o a água. No entanto, há afinidade diferenciada dessas duas enzimas pelo seu substrato, de modo que a APX, com sua alta afinidade, atua quando o H_2O_2 está presente em baixas concentrações e a CAT, por outro lado, tem comportamento inverso (GILL; TUTEJA, 2010). Inibição da enzima CAT também foi observada em plantas de trigo quando submetidas a altas doses do herbicida chlorotoluron (SONG et al., 2007). No

entanto, não se sabe ao certo porque mesmo com alta atividade da SOD pode ocorrer menor acúmulo de H_2O_2 .

Um das possíveis explicações para essa característica é a conversão dos radicais livres em *OH . O *OH pode reagir com todas moléculas biológicas como DNA, proteínas, lipídeos, e quase todos os constituintes das células. Devido à ausência de qualquer mecanismo para a eliminação desta EROs altamente reativa, o excesso de produção de *OH , em última análise conduz à morte das células (VRANOVA et al., 2002).

Outra consequência do estresse causado por herbicidas é a redução nos teores de proteínas totais. Esse efeito pode ser observado para o herbicida oxifluorfem, o qual reduziu os níveis de proteínas em relação à testemunha e aos demais herbicidas (tab.5). As proteínas são encontradas em todas as partes das células, uma vez que são fundamentais sob todos os aspectos da estrutura e função celulares, e alterações nos teores de proteínas podem representar grande dano para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Trabalhos demonstram que a aplicação de herbicidas pode resultar em menor síntese de proteína (WANG; ZHOU, 2006; SOOD et al., 2012).

Observou-se que, de forma geral, o teor de prolina aumentou em plantas submetidas à aplicação de oxifluorfem (tab.5). Acredita-se que esse aumento devido a aplicação de oxifluorfem seja decorrente do papel desempenhado pela prolina contra danos oxidativos, pela capacidade de eliminar EROs da célula ou ativando mecanismo de defesa antioxidante (CHEN; DICKMAN, 2005; ALIA; MOHANTY; MATYSIK, 2001; MOLINARI et al., 2007). Sob influência do estresse, a síntese de proteínas é inibida e a degradação de proteínas é acelerada, o que leva ao acúmulo de aminoácidos e aminas livres. Característica marcante do distúrbio no metabolismo de proteínas é a mudança na proporção dos aminoácidos e, frequentemente, aumento elevado na concentração de prolina (LARCHER, 2000).

O acúmulo de prolina ocorre em função do aumento da hidrólise de proteínas em situações de estresse ou como resultado da conversão de açúcares na via do glutamato (TORELLO; RICE, 1986; HUBER; KREUTMAIER; SANKHLA, 1977). Isso ocorre porque a prolina atua como mediador do ajustamento osmótico, na integridade e proteção da membrana plasmática, como fonte de carbono e nitrogênio (HEMAPRABHA et al., 2013), e como agente antioxidante, removendo espécies reativas de oxigênio durante o estresse oxidativo, como verificado em

diferentes estudos (MOLINARI et al., 2007; CARLIN; SANTOS, 2009; QUEIROZ et al., 2011; CIA et al., 2012).

Quando avaliadas as alterações aos 12 DAE, observou-se redução nos teores de H_2O_2 nas plantas tratadas com oxifluorfem (tab.6). O peróxido de hidrogênio normalmente é oriundo da atividade da SOD, a qual converte o $O_2^{\cdot -}$ em H_2O_2 . No entanto, se esse ânion superóxido não foi convertido pela SOD, o mesmo pode formar o radical hidroxila através da reação de Haber-Weiss, sendo este o radical mais prejudicial à célula. O acúmulo de H_2O_2 pode inibir a síntese de proteínas do fotossistema II (TAKAHASHI; MURATA, 2008), além de apresentar correlação negativa com a atividade da enzima rubisco (ZHOU; LAM; ZHANG, 2007).

Tabela 6 – Peroxidação lipídica em termos das espécies reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) (nM MDA g^{-1} de MF), teor de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) (mM g^{-1} MF) e atividade da ascorbato peroxidase (APX) (UA mg^{-1} proteína $minuto^{-1}$) em plantas de arroz submetidas à aplicação de herbicidas pré-emergentes, avaliadas aos 12 dias após a emergência (DAE). FAEM/UFPel, Capão do Leão/RS, 2013/14.

Tratamento	TBARS	H_2O_2	APX
Testemunha	16,27 b^1	2,93 ab	0,134 b
Oxifluorfem	20,06 a	1,84 b	0,162 b
Oxadiazona	19,96 b	3,06 a	0,593 a
Pendimetalina	14,68 b	3,39 a	0,661 a
CV (%)	9,50	25,30	18,3

¹ médias seguidas por letras distintas na coluna diferem pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$).

Com base nas outras variáveis é possível sugerir que o baixo teor de H_2O_2 em plantas tratadas com oxifluorfem não está diretamente ligado com a menor seletividade deste herbicida. Ou seja, não significa que não está ocorrendo a formação de H_2O_2 , podendo o mesmo ter sido convertido em $\cdot OH$, ou então dismutado a água pela atividade da SOD. Além disso, sabe-se que em baixas concentrações o H_2O_2 pode atuar como molécula sinalizadora para ativação do sistema de defesa antioxidante. Evidências relatam a resposta da variável frente ao estresse causado pelo frio (ZHANG et al., 2008), calor (VOLKOV et al., 2006), seca

(LUNA et al., 2005), salinidade (YAMANE; TANIGUCHI; MIYAKE, 2012), deficiência de nutrientes (TEWARI et al., 2004), exposição ao ozônio (PELLINEN; PALVA; KANGASJÄRVI, 1999), metais pesados (PANDA et al., 2011) e aplicação de herbicidas (WU et al., 2010), o que reforça a relação entre H_2O_2 e estresse. Quando comparado aos demais radicais o $O_2^{\cdot-}$ e o H_2O_2 são relativamente pouco reativos, mas quando em presença de íons metálicos como o Fe, por exemplo, ativam uma sequência de reações que levam a formação de $^{\cdot}OH$ na reação de Haber-Weiss (BOWLER; MONTAGU; INZE, 1992). Sendo assim, a ativação do sistema de defesa é crucial para garantir a sobrevivência das plantas.

Verificou-se maior atividade da enzima ascorbato peroxidase em plantas tratadas com oxadiazona e pendimetalina (tab.6). Tais resultados podem ser decorrentes do maior acúmulo de peróxido de hidrogênio devido à aplicação destes herbicidas. A APX é conhecida por desempenhar o papel mais importante na eliminação de EROs protegendo as células de plantas superiores, algas, e outros organismos. Esta enzima está envolvida na eliminação do H_2O_2 e utiliza como o doador de elétrons o ascorbato (GILL; TUTEJA, 2010). Além disso, a APX possui maior afinidade com o H_2O_2 quando comparada a CAT, ou seja, mesmo em menor quantidade o H_2O_2 pode ativar a APX a fim de converter esse radical em água. Em estudo semelhante, verificou-se que a atividade da ascorbato peroxidase aumentou tanto em folhas como raízes de trigo submetidas à aplicação de chlorotoluron (SONG et al., 2007).

No segundo experimento, quando avaliadas as plantas 24 horas após a pulverização (HAP) observou-se significância estatística para todas as variáveis avaliadas (tab.7, 9 e 11). Já, as 120 HAP, apenas não foi verificado significância estatística para a variável relação de clorofila A/B (tab.8, 10 e 12).

De modo geral, as 24 HAP, observou-se redução nos teores de clorofila *a* quando aplicado o herbicida carfentrazona-etílica, no entanto não foi observada diferença estatística em relação a testemunha e aos herbicidas penoxsulan e bispiribaque-sódico (tab.7). Os demais herbicidas não reduziram os teores dos pigmentos fotossintéticos, corroborando com estudos anteriores onde observou-se o efeito de bentazona, cialofope-butílico e penoxsulam em plantas de arroz (NOHATTO, 2014). Já, para clorofila *b*, clorofilas totais e carotenoides verificou-se redução em relação à testemunha nas plantas tratadas com carfentrazona-etílica.

Tais resultados levam a maior relação A/B observada nas plantas submetidas à aplicação de carfentrazona-etílica.

Tabela 7 – Teor de clorofila *a* (Cha) (mg g⁻¹), clorofila *b* (Chb) (mg g⁻¹), clorofilas totais (Chtot) (mg g⁻¹), carotenoides (CR) (mg g⁻¹) e relação A/B em plantas de arroz submetidas a aplicação de herbicidas pós-emergentes, avaliadas 24 horas após a pulverização (HAP). FAEM/UFPel, Capão do Leão/RS, 2013/14.

Tratamento	Cha		Chb		Chtot		CR		A/B	
Testemunha	1,77	ab ¹	0,46	ab	2,24	ab	0,52	a	3,90	b
Imazapir + Imazapique	1,91	a	0,62	a	2,53	ab	0,58	a	3,08	b
Quincloraque	1,88	a	0,57	ab	2,46	ab	0,55	a	3,30	b
Bentazona	2,03	a	0,63	a	2,66	a	0,53	a	3,35	b
Cialofope-butílico	1,88	a	0,57	ab	2,46	ab	0,59	a	3,33	b
Penoxsulam	1,64	ab	0,44	abc	2,08	abc	0,50	a	4,02	b
Bispiribaque-sódico	1,55	ab	0,40	bc	1,95	bc	0,53	a	4,13	b
Carfentrazona-etílica	1,37	b	0,25	c	1,63	c	0,27	b	6,56	a
CV (%)	16,4		24,7		16,8		17,3		32,1	

¹ médias seguidas por letras distintas na coluna diferem pelo teste de Duncan (p≤0,05).

Pigmentos fotossintéticos, como a clorofila *a*, são utilizados pelas plantas para capturar a energia luminosa, produzindo poder redutor para o processo de fixação e assimilação do CO₂ no ciclo de Calvin. A síntese de porfirinas é fundamental para a produção de clorofilas em plantas e heme em plantas e animais. As principais diferenças referem-se à alimentação da rota, feita a partir do glutamato em plantas (NELSON; COX, 2000). Diversos agentes (bióticos e abióticos) diminuem a concentração de clorofila *a* nos tecidos fotossintéticos, tanto pelo aumento da degradação (senescência) quanto pela inibição da biossíntese (GAN, 2007).

Dentre os fatores abióticos, importantes compostos sintéticos, utilizados como herbicidas, atuam na inibição da síntese de clorofilas na porção porfirínica, principal local de atuação dos inibidores da PROTOX (REBEIZ et al, 1984; HALLING; PETERS, 1987; MATRINGE; SCALA, 1987; LYDON; DUKE, 1988; WAKABAYASHI; BOGER, 1999). Estes compostos agem por meio da inibição de enzima comum entre as vias de síntese de clorofila e citocromos (MATRINGE et al.,

1989), o que resulta em acúmulo de intermediários tetrapirrólicos, paralisando a formação deste pigmento (WITKOWSKI; HALLING, 1989; MATRINGE et al., 1989).

Quando avaliado o teor de clorofilas e carotenoides as 120 HAP, verificou-se redução causada pelo herbicida carfentrazona-etílica para variável clorofila *a*, clorofilas totais e carotenoides, em relação à testemunha, enquanto os teores de clorofila *b* não diferiram da testemunha (tab.8).

Reduções do teor de pigmentos devido à ação de inibidores da PROTOX foram observados por diversos autores (KUNERT; BÖGER, 1981; WITKOWSKI; HALLING, 1988; SHERMAN et al., 1991; MOSTOWSKA; SIEDLECKA; PARYS, 1996; TRIPHANY et al., 2007) como consequência do estresse oxidativo, levando a redução da fotossíntese e indicando que o teor de clorofilas pode ser um biomarcador para o crescimento das plantas (WEI; DENG, 1996). Essa consequência pode ser atribuída ao fato de que danos no sistema fotossintético refletem na redução dos níveis de clorofilas e carotenoides (SANTOS et al., 2011). À medida que aumenta o estresse oxidativo em função do tempo de exposição à luz, os tilacoides são danificados e perdem sua capacidade de realizar fotossíntese, devido a danos no aparato fotossintético (TRIPATHY et al., 2007), o que pode explicar a menor fotossíntese líquida observada em plantas tratadas com carfentrazona-etílica.

Os carotenoides β -caroteno e zeaxantina e os tocoferóis apresentam papel fotoprotetor importante, seja por dissipação do excesso de energia como calor ou por limpeza da EROs (GILL; TUJETA, 2010; KRESLAVSKI et al., 2013). Carotenoides como neoxantina e luteína foram associados aos processos de remoção de EROs (BONNECARRÈRE et al., 2011). A diminuição nos teores de carotenoides devido a aplicação de herbicidas traz consequências marcantes em plantas, como menor crescimento e desenvolvimento e maior fitotoxicidade, como foi observado no presente estudo. Isso ocorre porque carotenoides são pigmentos importantes para absorção de luz durante a fotossíntese, e a redução deles resulta em redução da atividade fotossintética das plantas e, conseqüentemente, no desenvolvimento e crescimento delas.

Tabela 8 – Teor de clorofila *a* (Cha) (mg g⁻¹), clorofila *b* (Chb) (mg g⁻¹), clorofilas totais (Chtot) (mg g⁻¹), carotenoides (CR) (mg g⁻¹) em plantas de arroz submetidas a aplicação de herbicidas pós-emergentes, avaliadas 120 horas após a pulverização dos tratamentos (HAP). FAEM/UFPel, Capão do Leão/RS, 2013/14.

Tratamento	Cha		Chb		Chtot		CR	
Testemunha	1,42	ab ¹	0,46	ab	1,88	a	0,48	b
Imazapir + Imazapique	1,69	ab	0,39	ab	2,09	a	0,57	ab
Quincloraque	1,83	a	0,52	a	2,35	a	0,64	a
Bentazona	1,77	ab	0,55	a	2,32	a	0,57	ab
Cialofope-butílico	1,36	b	0,44	ab	1,80	a	0,49	b
Penoxsulam	1,76	ab	0,51	ab	2,27	a	0,63	a
Bispiribaque-sódico	1,46	ab	0,46	ab	1,91	a	0,50	b
Carfentrazone-etílica	0,71	c	0,21	b	0,92	b	0,28	c
CV (%)	18,7		40,8		21,8		15,1	

¹ médias seguidas por letras distintas na coluna diferem pelo teste de Duncan (p≤0,05).

Verificou-se redução nos teores de H₂O₂, 24 HAP, quando aplicados os herbicidas quincloraque, bentazona e carfentrazone-etílica (tab.9). Não é possível afirmar ao certo o porquê ocorrem essas reduções, visto que não foi observada diferenças na atividade da SOD em relação à testemunha. Novamente tais resultados poderiam ser atribuídos à conversão do H₂O₂ em outro radical livre, como o *OH, conforme citado anteriormente. O *OH tem grande potencial oxidativo atacando rapidamente e sem discriminação qualquer macromolécula levando a sérios danos celulares (SCANDALIOS; ACEVEDO; RUZSA, 2000), causando peroxidação lipídica, desnaturação proteica, e mutação no DNA (BOWLER; MONTAGU; INZE, 1992), podendo levar a disfunções metabólicas irreparáveis e até morte celular (VRANOVA et al., 2002; (SCANDALIOS; ACEVEDO; RUZSA, 2000).

Tabela 9 – Teor de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) (mM g^{-1}), peroxidação lipídica em termos das espécies reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) (nM MDA g^{-1} de MF) e teor de prolina (PROL) (mg prolina g^{-1} MF) em plantas de arroz após a aplicação de herbicidas pós-emergentes, avaliadas as 24 horas após a aplicação (HAP). FAEM/UFPel, Capão do Leão/RS, 2013/14.

Tratamento	H_2O_2	TBARS	PROL
Testemunha	11,29 a ¹	14,49 b	0,135 c
Imazapir + Imazapique	8,97 abc	11,80 b	0,143 c
Quincloraque	8,68 bc	9,73 b	0,170 bc
Bentazona	7,37 cd	9,49 b	0,166 bc
Cialofope-butílico	9,00 abc	9,58 b	0,147 c
Penoxsulam	10,03 ab	10,75 b	0,166 bc
Bispiribaque-sódico	9,07 abc	10,47 b	0,199 b
Carfentrazone-etílica	6,25 d	34,31 a	0,292 a
CV (%)	16,0	32,9	11,7

¹ médias seguidas por letras distintas na coluna diferem pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$).

De modo similar às demais variáveis, observou-se na avaliação as 24 HAP, aumento na peroxidação lipídica em plantas tratadas com carfentrazone-etílica (tab.9). Como mencionado anteriormente, a inibição da PROTOX pode levar a formação de EROs, desencadeando em peroxidação dos lipídeos de membrana e consequente estresse oxidativo.

Foi verificado elevação nos teores de prolina frente à aplicação de bispiribaque-sódico e carfentrazone-etílica, quando comparados à testemunha sem aplicação (tab.9). A Prolina desempenha função protetora contra estresse em plantas devido a sua capacidade de eliminar radicais livres, e estabilizador de estruturas subcelulares (KISHOR et al, 2005; VERBRUGGEN; HERMANS, 2008). O acúmulo deste aminoácido é principalmente relatado em situações de estresse salino (NAJAFI et al., 2006; RAIS et al., 2013; ASHFAQUE; KHAN; KHAN, 2014), mas pode desempenhar papel importante também contra xenobióticos (SONG et al., 2007; WANG; ZHOU, 2006; WANG; ZHOU; REN, 2009; JIANG; YANG, 2009). Além disso, a prolina acumulada sob condições adversas de crescimento, atua como sinal de memória para próxima geração (ZHANG et al. de 2013).

As 120 HAP observou-se aumento do teor de H_2O_2 nas plantas tratadas com bispiribaque-sódico em relação a testemunha, porém não diferindo do penoxsulam (tab.10). Por outro lado, os menores valores observados foram em plantas submetidas à aplicação de carfentrazone-etílica. Em função dos dados obtidos nas outras análises que indicam o estresse causado por herbicidas, hipotetiza-se que o menor teor de H_2O_2 em plantas tratadas com carfentrazone não está relacionado ao menor estresse, e sim a possível formação de radicais livres mais prejudiciais para a célula que o H_2O_2 .

Tabela 10 – Teor de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) ($mM\ g^{-1}$ MF), peroxidação lipídica em termos das espécies reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) ($nM\ MDA\ g^{-1}$ de MF) e teor de prolina (PROL) ($mg\ prolina\ g^{-1}$ MF) em plantas de arroz após a aplicação de herbicidas pós-emergentes, avaliadas as 120 horas após a pulverização dos tratamentos (HAP). FAEM/UFPel, Capão do Leão/RS, 2013/14.

Tratamento	H_2O_2	TBARS	PROL
Testemunha	10,33 bc^1	9,66 c	0,099 c
Imazapir + Imazapique	8,98 c	4,86 d	0,105 bc
Quincloraque	9,21 c	12,86 c	0,117 bc
Bentazona	10,10 bc	10,58 c	0,140 b
Cialofope-butílico	9,04 c	14,46 c	0,125 bc
Penoxsulam	11,77 ab	9,98 c	0,109 bc
Bispiribaque-sódico	12,59 a	19,56 b	0,105 bc
Carfentrazone-etílica	2,82 d	75,99 a	0,364 a
CV (%)	14,5	13,0	16,2

¹ médias seguidas por letras distintas na coluna diferem pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$).

A superprodução de $O_2^{\cdot*}$ e H_2O_2 é normalmente considerada como resposta aos indutores de estresse (SONG et al., 2007; XUE; TAO; YANG, 2008; ZHOU; WANG; YANG, 2008; JIANG; YANG, 2009). Os aumentos nos níveis de $O_2^{\cdot*}$ devido ao estresse ambiental (ZHOU; WANG; YANG, 2008; MOORE; KRÖGER, 2010) leva a formação de outras espécies reativas de oxigênio como *OH (HALLIWELL, 2006). Uma vez acumulado nas células, o H_2O_2 ativa os canais de passagem de cálcio na membrana do vacúolo, aumentando a sua concentração no citosol (KÖHLER;

BLATT, 2002), levando com isso a despolarização das células-guardas, efluxo de potássio, perda de turgor e como consequência, pode ocasionar o fechamento dos estômatos (SCHROEDER; KWAK; ALLEN, 2001).

O H_2O_2 está começando a ser aceito como mensageiro secundário para sinais gerados pelas EROs devido a sua meia vida consideravelmente longa e alta permeabilidade através das membranas (QUAN et al., 2008). Contudo, os efeitos biológicos do H_2O_2 mostram-se dependentes não apenas de sua concentração, mas também do seu sítio de produção, do estágio de desenvolvimento da planta e da prévia exposição da planta a outros tipos de estresse (PETROV; BREUSEGEM, 2012). Dessa forma, mais estudos devem ser realizados a fim de ratificar os resultados observados nesse estudo e estabelecer o efeito H_2O_2 quando da aplicação de herbicidas.

Quando avaliada a peroxidação lipídica as 120 HAP, observou-se aumento no acúmulo de aldeído malônico (MDA) em plantas tratadas com bispiribaque-sódico e carfentrazona-etílica, enquanto os demais tratamentos apresentaram valores similar ou inferior à testemunha (tab.10). O menor acúmulo de MDA foi observado nas plantas submetidas à aplicação de Imazapir + Imazapique, evidenciando a alta tolerância da cultivar Puitá INTA CL ao grupo das imidazolinonas, resultado este esperado, uma vez que esta cultivar possui a capacidade de metabolizar o herbicida.

O maior teor de prolina, as 120 HAP, foi observado no tratamento com carfentrazona-etílica, sendo superior ao tratamento com bentazona e estes superiores à testemunha (tab.10). Hipotetiza-se que, além da menor seletividade destes herbicidas, os mesmos são produtos de ação de contato, possuindo efeito mais rápido sobre as plantas. Além disso, o bentazona (FS II) e o carfentrazona-etílica (PROTOX) possuem como consequência do mecanismo de ação a produção de EROs, e assim induzem ao aumento de prolina como forma de defesa das plantas.

Ao avaliar os teores de proteínas nas plantas, tanto as 24 quanto as 120 HAP, observou-se maior redução nas plantas tratadas com o herbicida carfentrazona-etílica (tab.11 e 12). Essa redução pode ser atribuída tanto a menor síntese como também a hidrólise e formação do aminoácido prolina.

Ao avaliar a atividade da SOD, não se observou aumento em relação a testemunha, sugerindo que os herbicidas não ativaram o sistema de defesa ou que

24 horas não é suficiente para que ocorra tal resposta (tab.11). Resultados semelhantes foram observados para a CAT, onde, não se observou ativação da enzima pela aplicação dos herbicidas, sendo os valores obtidos inferiores a testemunha (tab.11).

Diferentemente das demais enzimas, observou-se aumento na atividade da APX as 24 HAP em plantas tratadas com bentazona, enquanto que a atividade foi reduzida em plantas submetidas à aplicação de carfentrazona-etílica (tab.11). Tais resultados podem ser decorrentes da menor atividade da CAT observada nas plantas tratadas com bentazona e do menor acúmulo de H_2O_2 devido a aplicação de caerfentrazona-etílica, já que o H_2O_2 é substrato da enzima APX. Mesmo a APX possuindo maior afinidade pelo substrato comparada a CAT, o acúmulo de H_2O_2 não foi suficiente para ativar o sistema de defesa. Vale ressaltar que esse menor acúmulo de H_2O_2 não indica menor estresse oxidativo, afinal esse radical pode ter sido convertido em outro radical mais prejudicial a célula, conforme explicado anteriormente.

Tabela 11 – Teor de proteína (PROT) (mg caseína g^{-1} MF), atividade da superóxido dismutase (SOD) (UA mg^{-1} proteína $minuto^{-1}$), atividade da catalase (CAT) (UA mg^{-1} proteína $minuto^{-1}$) e atividade da ascorbado peroxidase (APX) (UA mg^{-1} proteína $minuto^{-1}$) em plantas de arroz submetidas a aplicação de herbicidas pós-emergentes, avaliadas as 24 horas após a pulverização dos tratamento (HAP). FAEM/UFPeI, Capão do Leão/RS, 2013/14.

Tratamento	PROT	SOD	CAT	APX
Testemunha	28,55 a ¹	2,00 a	0,130 a	0,338 b
Imazapir + Imazapique	26,92 a	2,19 a	0,108 bcd	0,346 b
Quincloraque	25,30 a	2,12 a	0,102 cd	0,372 b
Bentazona	25,60 a	1,41 b	0,095 d	0,568 a
Cialofope-butílico	28,05 a	2,20 a	0,117 abc	0,304 bc
Penoxsulam	28,35 a	1,94 b	0,125 ab	0,359 b
Bispiribaque-sódico	27,35 a	2,33 a	0,112 abcd	0,341 b
Carfentrazona-etílica	20,80 b	2,50 a	0,114 abcd	0,245 c
CV (%)	10,9	17,3	10,9	11,1

¹ médias seguidas por letras distintas na coluna diferem pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$).

De modo contrário a avaliação as 24 HAP, quando avaliada a SOD as 120 HAP, observou-se aumento na atividade da enzima devido à aplicação de quincloraque, cialofope-butílico e carfentrazone-etílica (tab.12). Como sugerido anteriormente, 24 horas pode não ser tempo suficiente para ativação do sistema de defesa, principalmente quando submetidas à aplicação de produtos sistêmicos. A maior atividade da SOD em plantas submetidas à aplicação de cialofope-butílico não era esperada, pois sabe-se que tal herbicida é seletivo a cultura do arroz. No entanto, essa seletividade pode estar relacionada justamente com o eficiente sistema antioxidativo das plantas em resposta a esse herbicida.

Tabela 12 – Teor de proteína (PROT) (mg caseína g^{-1} MF), atividade da superóxido dismutase (SOD) (UA mg^{-1} proteína minuto^{-1}), atividade da catalase (CAT) (UA mg^{-1} proteína minuto^{-1}) e atividade da ascorbado peroxidase (APX) (UA mg^{-1} proteína minuto^{-1}) em plantas de arroz submetidas a aplicação de herbicidas pós-emergentes, avaliadas as 120 horas após a pulverização dos tratamento (HAP). FAEM/UFPel, Capão do Leão/RS, 2013/14.

Tratamento	PROT		SOD		CAT		APX	
Testemunha	24,05	abc ¹	1,81	d	0,094	b	0,521	a
Imazapir + Imazapique	26,72	a	2,16	cd	0,114	ab	0,493	a
Quincloraque	23,35	bc	2,36	c	0,117	ab	0,434	a
Bentazona	22,69	c	2,01	cd	0,131	a	0,236	b
Cialofope-butílico	22,83	c	2,82	b	0,094	b	0,588	a
Penoxsulam	26,43	ab	2,16	cd	0,098	b	0,516	a
Bispiribaque-sódico	24,77	abc	2,22	cd	0,109	ab	0,545	a
Carfentrazone-etílica	11,60	d	4,55	a	0,042	c	0,456	a
CV (%)	8,2		11,3		13,2		17,6	

¹ médias seguidas por letras distintas na coluna diferem pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$).

Em estudo semelhante, observou-se aumento na atividade da SOD de até 243% em plantas de arroz quando aplicado atrazina comparado ao tratamento controle (ZHANG et al., 2014). Plantas de trigo tratadas com paraquat (EKMEKCI; TERZIOGLU, 2005), de arroz com glifosato (AHSAN et al., 2008) e fluroxipir (WU et al., 2010) e soja com lactofem (FERREIRA et al., 2010) também apresentaram

aumento na SOD. A elevação da atividade da SOD em resposta ao estresse imposto por determinados herbicidas decorre da acumulação de EROs, particularmente sob condições que podem levar a morte da célula.

A maior atividade da CAT as 120 HAP foi observada em plantas tratadas com bentazona, provavelmente em função do rápido acúmulo de H_2O_2 observado em produtos com ação de contato (tab.12). De modo similar, plantas de arroz tratadas com atrazina também resultaram em maior atividade da CAT (ZHANG et al., 2014). No entanto, o menor acúmulo desse radical nas plantas tratadas com carfentrazona-etílica levou a menor atividade da enzima. Por outro lado, em relação a APX, de forma geral, não se observou alteração na atividade da enzima em função dos tratamentos herbicidas .

De modo geral, as maiores alterações foram causadas pelos herbicidas inibidores da PROTOX. Estes herbicidas podem ter sua ação reduzida pelo aumento da atividade de algumas enzimas antioxidantes como SOD, CAT e APX, as quais tem o poder de mitigar o estresse oxidativo (GULLNER; DODGE, 2000; GEOFFROY et al., 2002; SUGIYAMA; SEKIYA, 2005; JUNG et al., 2008). Plantas de arroz tratadas com inibidores da PROTOX de vários grupos químicos (acifluorfen, oxifluorfen, carfentrazona-etílica e oxadiazona) mostraram incremento da atividade da SOD, CAT e APX (60, 17, 68%, respectivamente), comparado a plantas não tratadas (JUNG et al., 2008). No entanto, o impacto do sistema antioxidante na efetividade dos herbicidas inibidores da PROTOX é ainda complexo (MATZENBACHER et al., 2014).

Vale ressaltar que ao longo do tempo, as plantas evoluíram estratégias sofisticadas para suportar o efeito adverso de herbicidas e reduzir sua fitotoxicidade via sistema de desintoxicação múltipla (KAWAHIGASHI, 2009). Numerosos estudos têm mostrado que EROs (como H_2O_2) pode servir como moléculas sinalizadoras envolvidas na resposta das plantas aos estresses bióticos e abióticos (MITTLER, 2002; GILL; TUTEJA, 2010) podendo ativar enzimas do sistema antioxidante (WANG; YANG, 2005; JIANG; YANG, 2009).

Ao relizar a análise de correlação de Pearson para as variáveis metabólicas, observou-se para ambos os experimentos, correlação positiva e negativa (tab.13 a 16). A correlação positiva indica que para cada unidade que aumenta na variável X ocorre aumento de uma unidade na variável Y. Já, a correlação negativa indica que aumento de uma variável resulta no decréscimo da outra.

Em relação aos herbicidas pré-emergentes observou-se que das 21 possíveis correlações, apenas 14% foram significativas aos 8 DAE (tab. 13). Já aos 12 DAE, não verificou-se significância nas correlações (tab. 14). O reduzido percentual de correlações significativas demonstra que para os herbicidas pré-emergentes as avaliações aos 8 e 12 DAE podem ter permitido a planta metabolizar o herbicida, sendo necessário realizar as avaliações em período anterior a este. Correlações negativas foram verificadas entre as variáveis FITO e EST (-0,99*) e SOD e EST (-0,97*), indicando que o aumento da fitotoxicidade e da atividade da SOD reduzem a estatura de plantas de arroz aos 8 DAE.

Em relação aos herbicidas pós-emergentes observou-se que das 66 possíveis correlações, 42% foram significativas as 24 HAP (tab. 15). Já as 120 HAP, das 78 possíveis correlações, 70% foram significativas (tab. 16). O maior percentual de correlações significativas as 120 HAP sugere que 24HAP não é tempo suficiente para que as plantas ativem o sistema de defesa antioxidantes, devendo ser realizadas coletas após as 120 HAP. As 24 HAP, a CAT não apresentou correlação com as demais variáveis, enquanto que APX e SOD apresentem correlação entre si (-0,93*), mas não se correlacionam com as demais variáveis. Além disso, as variáveis TBARS e PROL apresentam correlação negativa com os pigmentos fotossintético, sugerindo que a degradação das clorofilas está associada à peroxidação lipídica e induz o aumento do conteúdo de prolina (tab. 15). Quando avaliadas as correlações 120 HAP, verificou-se que as variáveis EST e APX não possuem correlação com as demais variáveis (tab. 16). De modo similar as 24 HAP, as variáveis TBARS e PROL possuem correlação negativa com os pigmentos fotossintéticos.

De modo geral, observou-se que o experimento utilizando herbicidas pós-emergentes apresentou maior número de correlações significativas, sejam elas positivas ou negativas, principalmente na segunda época de avaliação (120 HAP), evidenciando que tais tratamentos desencadeiam respostas generalizadas nas plantas, tanto em relação ao acúmulo de espécies reativas de oxigênio, degradação de pigmentos fotossintéticos e/ou ativação de do sistema de defesa enzimático e não enzimático (tab. 15 e 16).

Tabela 13 – Correlação de Pearson para as variáveis fitotoxicidade (FITO), estatura (EST), peroxidação lipídica (TBARS), superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), proteínas (PROT) e prolina (PROL) em plantas de arroz submetidas à aplicação de herbicidas pré-emergentes, avaliadas aos oito dias após a emergência (DAE). FAEM/UFPeI, Capão do Leão/RS, 2013/14.

	FITO	EST	TBARS	SOD	CAT	PROT	PROL
FITO	---						
EST	-0,99 ^{*1}	---					
TBARS	0,90 ^{ns}	-0,86 ^{ns}	---				
SOD	0,98 ^{ns}	-0,97 [*]	0,94 ^{ns}	---			
CAT	-0,85 ^{ns}	0,82 ^{ns}	-0,89 ^{ns}	-0,82 ^{ns}	---		
PROT	-0,85 ^{ns}	0,81 ^{ns}	-0,99 [*]	-0,90 ^{ns}	0,90 ^{ns}	---	
PROL	0,64 ^{ns}	-0,59 ^{ns}	0,87 ^{ns}	0,67 ^{ns}	-0,91 ^{ns}	-0,91 ^{ns}	---

¹ * significativo e ^{ns} não significativo a $p \leq 0,05$.

Tabela 14– Correlação de Pearson para as variáveis estatura (EST), peroxidação lipídica (TBARS), peróxido de hidrogênio (H₂O₂) e ascorbato peroxidase (APX) em plantas de arroz submetidas à aplicação de herbicidas pré-emergentes, avaliadas aos 12 dias após a emergência (DAE). FAEM/UFPel, Capão do Leão/RS, 2013/14.

	EST	TBARS	H ₂ O ₂	APX
EST	---			
TBARS	-0,43 ^{ns1}	---		
H ₂ O ₂	0,54 ^{ns}	-0,67 ^{ns}	---	
APX	-0,16 ^{ns}	-0,23 ^{ns}	0,71 ^{ns}	---

¹ * significativo e ^{ns} não significativo a p≤0,05.

Tabela 15– Correlação de Pearson para as variáveis clorofila a (Cha), clorofila b (Chb), clorofilas totais (Chtot), carotenoides (CR), relação A/B (A/B), peróxido de hidrogênio (H₂O₂), peroxidação lipídica (TBARS), superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), ascorbato peroxidase (APX), proteínas (PROT) e prolina (PROL) em plantas de arroz submetidas à aplicação de herbicidas pós-emergentes, avaliadas as 24 horas após a pulverização dos tratamento (HAP). FAEM/UFPel, Capão do Leão/RS, 2013/14.

	Cha	Chb	Chtot	CR	A/B	H ₂ O ₂	TBARS	PROL	PROT	SOD	CAT	APX
Cha	---											
Chb	0,97*	---										
Chtot	0,99*	0,99*	---									
CR	0,78*	0,84*	0,80*	---								
A/B	-0,88*	-0,92*	-0,89*	-0,97*	---							
H ₂ O ₂	0,20 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,57 ^{ns}	-0,49 ^{ns}	---						
TBARS	-0,72*	-0,78*	-0,74*	0,95*	-0,94*	-0,55 ^{ns}	---					
PROL	-0,79*	-0,79*	-0,79*	-0,91*	0,92*	-0,74*	0,85*	---				
PROT	0,43 ^{ns}	0,47 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,81*	-0,73*	0,87*	-0,81*	-0,87*	---			
SOD	-0,69 ^{ns}	-0,61 ^{ns}	-0,66 ^{ns}	-0,39 ^{ns}	0,52 ^{ns}	-0,11 ^{ns}	0,52 ^{ns}	0,50 ^{ns}	-0,31 ^{ns}	---		
CAT	-0,45 ^{ns}	-0,47 ^{ns}	-0,45 ^{ns}	-0,12 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,66 ^{ns}	0,16 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,33 ^{ns}	---	
APX	0,68 ^{ns}	0,63 ^{ns}	0,66 ^{ns}	0,39 ^{ns}	-0,53 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	-0,54 ^{ns}	-0,39 ^{ns}	0,17 ^{ns}	-0,93*	-0,60 ^{ns}	---

¹ * significativo e ^{ns} não significativo a p≤0,05.

Tabela 16– Correlação de Pearson para as variáveis fitotoxicidade (FITO), estatura (EST), clorofila *a* (Cha), clorofila *b* (Chb), clorofilas totais (Chtot), carotenoides (CR), peróxido de hidrogênio (H₂O₂), peroxidação lipídica (TBARS), prolina (PROL), proteínas (PROT), superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APX) em plantas de arroz submetidas à aplicação de herbicidas pós-emergentes, avaliadas às 120 horas após a pulverização dos tratamento (HAP). FAEM/UFPel, Capão do Leão/RS, 2013/14.

	FITO	EST	Cha	Chb	Chtot	CR	H ₂ O ₂	TBARS	PROL	PROT	SOD	CAT	APX
FITO	---												
EST	-0,49 ^{ns}	---											
Cha	-0,86*	0,45 ^{ns}	---										
Chb	-0,88*	0,47 ^{ns}	0,89*	---									
Chtot	-0,88*	0,47 ^{ns}	0,99*	0,93*	---								
CR	-0,84*	0,44 ^{ns}	0,98*	0,86*	0,97*	---							
H ₂ O ₂	-0,89*	0,46 ^{ns}	0,75*	0,84*	0,78*	0,73*	---						
TBARS	0,98*	-0,57 ^{ns}	-0,89*	-0,84*	-0,90*	-0,86*	-0,84*	---					
PROL	0,98*	-0,49 ^{ns}	-0,84*	-0,83*	-0,85*	-0,82*	-0,90*	0,97*	---				
PROT	-0,94*	0,54 ^{ns}	0,85*	0,76*	0,85*	0,84*	0,89*	-0,95*	-0,96*	---			
SOD	0,94*	-0,58 ^{ns}	-0,86*	-0,86*	-0,87*	-0,80*	-0,89*	0,95*	0,94*	-0,92*	---		
CAT	-0,87*	0,27 ^{ns}	0,92*	0,87*	0,92*	0,85*	0,75*	-0,87*	-0,82*	0,80*	-0,86*	---	
APX	-0,06 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	-0,25 ^{ns}	-0,26 ^{ns}	-0,26 ^{ns}	-0,15 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,02 ^{ns}	-0,16 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,07 ^{ns}	-0,35 ^{ns}	---

¹ * significativo e ^{ns} não significativo a p≤0,05.

2.4 Conclusões

Os herbicidas oxifluorfem, pendimetalina e carfentrazona-etílica resultam em menor fotossíntese líquida, aumento do CO_2 subestomático, menor eficiência do uso da água e da carboxilação.

Mesmo seletivos e registrados para controle de plantas daninhas na cultura do arroz, os herbicidas causam fitotoxicidade, reduzem a estatura e alteram o metabolismo das plantas, gerando espécies reativas de oxigênio, as quais ativam o sistema de defesa enzimático e não enzimático e resultam em degradação dos pigmentos fotossintéticos e redução no teor de proteínas.

Para os herbicidas pré-emergentes as variáveis fisiológicas devem ser realizadas em época anterior a 8 DAE enquanto que para os herbicidas pós-emergentes as avaliações devem ser realizadas em período igual ou posterior a 120 HAP.

3 CAPÍTULO II – Seletividade de herbicidas na cultura do arroz e efeito nos componentes da produtividade e na qualidade fisiológica de sementes

3.1 Introdução

O arroz é um dos cereais mais produzidos no mundo, participando como fonte de energia e proteína para mais da metade da população mundial (FAO, 2015). Visando obter altas produtividades, os agricultores têm utilizado diversos métodos de manejo para o controle de plantas daninhas, as quais, se presentes na área competem com a cultura por recursos do meio, como água, luz, CO₂ e nutrientes (MACIEL et al., 2003).

Existem diversos herbicidas seletivos registrados para controle de plantas daninhas na cultura do arroz, sendo esta seletividade definida como o nível de resposta diferencial entre espécies após a aplicação de uma molécula em particular (OLIVEIRA JR, 2001). A seletividade refere-se à capacidade do herbicida em eliminar plantas daninhas na cultura, sem afetar a produtividade ou a qualidade do produto final (NEGRISOLI et al., 2004), sendo relacionada ao fato de que cada espécie de planta responde de forma diferente ao mesmo herbicida (DEVINE; DUKE; FEDTKE, 1993).

A seletividade dos herbicidas pode ser decorrente de vários processos, destacando-se a metabolização que é processo metabólico natural de detoxificação das plantas, sendo geralmente classificada em quatro fases principais (YUAN; TRANEL; STEWART, 2007): conversão (I), conjugação (II), conversão secundária e transporte para o vacúolo (III) e deposição de metabólito final (IV) (DEVINE; DUKE; FEDTKE, 1993; COLE, 1994; EERD et al, 2003; YUAN; TRANEL; STEWART, 2007).

Quando a cultura é exposta a aplicação de herbicidas, alterações fisiológicas ou metabólicas são reveladas na forma de sintomas (LARCHER, 2000) sendo estes nomeados fitotoxicidade. Portanto, a fitotoxicidade pode ser interpretada como a superação da capacidade máxima de proteção oferecida pelo grupo de fatores que garantem a seletividade. Desta forma, em plantas tolerantes, parte do herbicida é rapidamente metabolizado e inativado antes de exercer seus efeitos fitotóxicos (OLIVEIRA JR, 2001), enquanto outra parte atinge o local alvo de ação, levando a planta a expressar sintomas.

Além de avaliar a seletividade de herbicidas, estudos têm mensurado o efeito da aplicação de herbicidas na dessecação pré-colheita de feijão (FRANCO et al., 2013; SANTOS et al., 2004), soja (LAMEGO et al., 2013; CELLA et al., 2014; BULOW; CRUZ-SILVA, 2012; DALTRO et al., 2010), canola (MARCHIORI JR. et al., 2002), trigo (BELLÉ et al., 2014) e arroz (AGOSTINETTO; FLECK; MENEZES, 2001). No entanto, pouco se sabe em relação aos efeitos na qualidade fisiológica de sementes de arroz em função da utilização de herbicidas para o controle de plantas daninhas em estádios mais precoces.

As sementes têm a função de perpetuação e multiplicação das espécies e pode ser considerado como elemento principal no estabelecimento, expansão, diversificação e desenvolvimento da agricultura. A qualidade da semente é conjunto de atributos genéticos, físicos, fisiológicos e sanitários que influenciam na capacidade do lote originar lavoura uniforme, constituída de plantas vigorosas e representativas da cultura, livres de plantas daninhas ou indesejáveis (POPINIGIS, 1985). A alteração na qualidade das sementes tem como consequência final a redução na capacidade germinativa, entretanto, transformações degenerativas mais sutis, não avaliadas pelo teste de germinação, exercem grande influência no potencial de desempenho, com reflexo na emergência das plântulas no campo, no crescimento e na produtividade das plantas (SPINOLA; CÍCERO; MELO, 2000).

A qualidade fisiológica da semente é avaliada por duas características fundamentais, a viabilidade e o vigor (POPINIGIS, 1985). A viabilidade, determinada pelo teste de germinação, procura avaliar a máxima germinação da semente. O vigor compreende conjunto de características que determinam o potencial fisiológico das sementes, sendo influenciado pelas condições de ambiente e manejo durante as etapas de pré e pós-colheita (VIEIRA; CARVALHO, 1994). Em outras palavras, o vigor das sementes determina o seu potencial fisiológico, ou seja, a capacidade de

apresentar desempenho adequado quando expostas a condições diferentes de ambiente (MARCOS-FILHO, 1999). Diante disso, o objetivo deste estudo foi avaliar a seletividade de herbicidas pré e pós-emergentes na cultura do arroz, bem como o efeito dos herbicidas na qualidade fisiológica das sementes.

3.2 Material e Métodos

Dois experimentos foram conduzidos no Centro Agropecuário da Palma (CAP), Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, no ano agrícola 2013/14. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com quatro repetições.

O primeiro experimento comparou os herbicidas pré-emergentes: clomazona (432 g ia ha^{-1}), oxadiazona ($1000 \text{ g ia ha}^{-1}$) e pendimetalina ($1600 \text{ g ia ha}^{-1}$) além da testemunha com cialofope-butílico (315 g ia ha^{-1}). O segundo experimento comparou os herbicidas pós-emergentes: imazapir + imazapique ($24,5 + 73,5 \text{ g ia ha}^{-1}$), quincloraque (375 g ia ha^{-1}), penoxsulam (60 g ia ha^{-1}), bispiribaque-sódico (50 g ia ha^{-1}) e carfentrazona-etílica (200 g ia ha^{-1}), além da testemunha com aplicação de cialofope-butílico (315 g ia ha^{-1}). Cada unidade experimental foi composta de uma parcela com área útil de $6,12 \text{ m}^2$ ($4 \times 1,53 \text{ m}$).

O preparo da área foi realizado conforme sistema convencional de cultivo do arroz. A semeadura foi realizada no dia 31 de outubro de 2013, utilizando-se a cultivar Puitá INTA CL na densidade de 120 kg ha^{-1} . A adubação foi realizada conforme análise de solo e as necessidades da cultura (SOSBAI, 2012).

Os herbicidas pré-emergentes foram pulverizados três dias após a semeadura e os pós-emergentes quando as plantas encontravam-se em estágio V4, ou seja, 20 dias após a emergência (DAE) do arroz. A pulverização foi realizada nas primeiras horas da manhã, utilizando-se pulverizador de pressão constante propelido por CO_2 e barra com quatro bicos Teejet 110.015 tipo leque, espaçados de 0,5 m, com volume de calda 120 L ha^{-1} . A aplicação de cialofope-butílico nas testemunhas foi realizada no mesmo momento da aplicação dos herbicidas pós-emergentes, nos dois experimentos. Além disso, a fim de manter a área livre da presença de plantas daninhas, foi aplicado cialofope-butílico em área total dois dias após a aplicação dos herbicidas pós-emergentes.

As variáveis de campo avaliadas foram fitotoxicidade à cultura, estatura de plantas e massa seca da parte aérea aos 10, 20 e 30 DAE para os tratamentos pré-emergentes e aos 10, 20 e 30 dias após a aplicação dos tratamentos (DAT) para os herbicidas pós-emergentes. Aos 30 DAE e 30 DAT também foi avaliado o número de afilhos por plantas, através de contagem do número de afilhos por metro.

Para as avaliações de fitotoxicidade foram atribuídas notas visuais em escala percentual, em que a nota 0% significa nenhum efeito e a nota 100% representa morte completa das plantas (FRANS et al., 1986). Para a determinação da estatura foram mensuradas 10 plantas por unidade experimental.

Antes da colheita foram coletas 10 panículas da área útil de cada unidade experimental para determinação do número de grãos cheios e vazios por panícula. Cada panícula foi debulhada manualmente, e efetuada a contagem dos grãos cheios e estéreis por panícula. A produtividade de grãos do arroz foi estimada pela colheita da área útil das parcelas quando o teor de umidade aproximou-se de 22%. Em seguida foi realizada a pesagem dos grãos e determinada a umidade, corrigindo-se os dados para 13% de umidade. A produtividade foi expressa em kg ha^{-1} . O peso de mil grãos foi estimado pela contagem manual de oito amostras de 100 grãos, sendo o valor corrigido para 1000 grãos e expresso em gramas.

Após a colheita, retirou-se amostra de sementes para determinação da qualidade fisiológica das sementes através do teste de germinação, envelhecimento acelerado, teste de frio e condutividade elétrica (viabilidade e vigor).

Para a realização do teste de germinação foram utilizadas 400 sementes de arroz (oito repetições de 50 sementes), as quais foram semeadas sobre duas folhas de papel germitest dobradas e umedecidas, previamente, com água destilada na proporção de 2,5 vezes o peso do papel. Os rolos foram mantidos em germinador a temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$. Para obtenção dos resultados foram realizadas duas contagens, sendo a primeira aos cinco dias, onde foram contabilizadas apenas as plântulas consideradas normais e a segunda aos 14 dias, quando as plântulas foram classificadas em normais ou anormais. Os resultados foram expressos em porcentagem, após a obtenção da média aritmética das oito repetições (BRASIL, 2009). Para cada tratamento, foi calculado o índice de velocidade de germinação sugerido por Maguire (1962), o qual evidencia o número de sementes germinadas por dia sendo o $\text{IVG} = G1/N1 + G2/N2 + \dots + Gn/Nn$, em que $G1, G2 \dots Gn$ é igual ao número de sementes germinadas, e $N1, N2 \dots Nn$ corresponde ao número de dias.

Para o teste de envelhecimento acelerado, foi utilizado o método da caixa plástica (gerbox), colocando-se sobre a tela suspensa no interior da caixa plástica, 200 sementes em camada única, contendo no interior da caixa 40 mL de água. As caixas foram tampadas e mantidas a 40°C e 100% de umidade relativa, por 96 horas (KRZYZANOWSKI; VIEIRA; FRANÇA NETO, 1999), até o teor de água das sementes atingir valores em torno de 22% base úmida, o qual foi estimado pelo método de estufa à 105°C $\pm$ 3 (BRASIL, 2009) durante 24 horas. Decorrido esse período, as sementes foram submetidas ao teste de germinação e no sétimo dia após a instalação, foi determinada a porcentagem de plântulas normais.

O teste de frio foi realizado segunda metodologia descrita por Krzyzanowski; Vieira; França Neto (1999). Foram distribuídas uniformemente, quatro repetições de 50 sementes duas folhas de papel germitest, previamente umedecido com água destilada na proporção de 2,5 vezes o peso do papel seco, montando-se os rolos. Estes foram colocados em sacos plásticos fechados e mantidos a 10°C por sete dias. Após este período os rolos foram transferidos para germinador a temperatura de 25 $\pm$ 2°C. Para avaliação do teste foi realizada contagem aos sete dias, classificando-se as plântulas em normais. Os resultados foram expressos pela média das quatro repetições, em números percentuais inteiros (KRZYZANOWSKI; VIEIRA; FRANÇA NETO, 1999).

O teste de condutividade elétrica foi realizado conforme a metodologia recomendada por Krzyzanowski, Vieira e França Neto (1999), onde foram colocadas 50 sementes/repetição, previamente pesadas, em copos plásticos contendo 25 mL de água deionizada, e mantidos à 25°C por 24 horas. Durante este período foi mensurada a condutividade elétrica através de condutímetro (Digimed – DM32) nos períodos de 2, 4, 6, 8 e 24 horas após a imersão em água. Os valores obtidos foram expressos em $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$.

Os dados foram analisados quanto à sua homocedasticidade e, posteriormente, submetidos à análise da variância ($p \leq 0,05$). No caso de verificada significância estatística, a comparação das médias foi realizada pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$) separadamente para cada experimento. A presença de correlações entre as variáveis dependentes do estudo foi analisada através do coeficiente de correlação de Pearson ($p \leq 0,05$), o qual mede o grau da correlação entre duas variáveis. O coeficiente de correlação Pearson (r) varia de -1 a 1, o sinal indica

direção positiva ou negativa do relacionamento e o valor sugere a força da relação entre as variáveis.

3.3 Resultados e Discussão

Verificou-se significância estatística dos tratamentos para as variáveis: fitotoxicidade (10, 20 e 30 DAE), estatura (10 e 20 DAE), número de afilhos por planta, massa seca da parte aérea (10 DAE), número de grãos por panícula, produtividade, índice de velocidade de emergência e envelhecimento acelerado no primeiro experimento (tabs. 17, 19, 21, 23 e 25). Em relação ao segundo experimento, verificou-se significância estatística dos tratamentos avaliados para as variáveis: fitotoxicidade (10, 20 e 30 DAT), estatura (10 e 20 DAT), massa seca da parte aérea (20 e 30 DAT) e produtividade (tabs. 18, 20, 22, 24 e 26). Para as demais variáveis não verificou-se significância estatística.

Foi verificada maior fitotoxicidade em plantas submetidas à aplicação de oxadiazona nas três épocas de avaliação quando comparado à testemunha (tab.17). Neste tratamento foi observada elevada injúria e redução da população de plantas na área, o que pode ser decorrente da dose herbicida utilizada.

Para o tratamento com clomazona, observou-se maior fitotoxicidade apenas na primeira época de avaliação (10 DAE), enquanto que a aplicação de pendimetalina resultou em maior fitotoxicidade tanto aos 10 quanto aos 20 DAE, comparativamente a testemunha. Os sintomas de fitotoxicidade por clomazona consistem basicamente no branqueamento das plantas (BOLLICH et al., 2000; FERHATOGLU; BARRET, 2006), os quais diminuem com o passar do tempo e muitas vezes não resultam em redução da produtividade (CAVERO et al., 2011; WEBSTER; BALDWIN; DILLON, 1999; SCHERDER; TALBERT; CLARK, 2004; ZHANG; WEBSTER; BLOUIN, 2004; MUDGE et al., 2005). Sintomas de fitotoxicidade devido a aplicação de pendimetalina também foram reportados em estudo avaliando herbicidas pré-emergentes (CAVERO et al., 2011).

Tabela 17 – Fitotoxicidade (%) aos 10, 20 e 30 dias após a emergência (DAE) de plantas de arroz submetidas à aplicação de herbicidas pré-emergentes. FAEM/UFPel, Capão do Leão/RS, 2013/14.

Tratamento	Fitotoxicidade (%)		
	10 DAE	20 DAE	30 DAE
Testemunha	0 c ¹	0 c	0 b
Clomazona	13,8 b	15,2 bc	2,5 b
Oxadiazona	32,0 a	48,7 a	29,2 a
Pendimetalina	10,0 b	21,2 b	2,2 b
CV (%)	20,0	44,7	128,3

¹ médias seguidas por letras distintas na coluna diferem pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$).

Quando avaliados os herbicidas pós-emergentes, verificou-se em todas as épocas de avaliação que o herbicida bispiribaque-sódico foi o que apresentou maior fitotoxicidade as plantas comparativamente a testemunha e aos demais tratamentos (tab. 18). Em geral, observou-se alta seletividade aos herbicidas, evidenciando recuperação das plantas ao longo do ciclo. Além disso, a diferença de fitotoxicidade entre as épocas de aplicação pode ser em função da menor capacidade de metabolização e detoxificação do herbicida quando as plantas se encontram menores.

Os sintomas de fitotoxicidade são comuns após a aplicação de herbicidas, sendo que os mesmos podem variar de acordo com a espécie, época de aplicação, condições de solo e temperatura, dentre outros fatores (DIAS et al., 2003). Fitotoxicidade causada por penoxsulam e bispiribaque-sódico também foram verificadas em plantas de arroz em diferentes condições de luminosidade e estágio de desenvolvimento (VENSKE, 2013). De modo semelhante, foi verificado sintomas de fitotoxicidade quando da aplicação de bispiribaque-sódico na cultura do arroz em terras altas (PETTER; ZUFFO; PACHECO; 2011).

Os resultados de fitotoxicidade observados neste estudo corroboram com estudos anteriores onde foi verificado que os herbicidas oxadiazona e bispiribaque-sódico, mesmo sendo seletivos para a cultura do arroz, ocasionam fitotoxicidade, clorose e redução da estatura (CHAUHAN; JOHNSON, 2011).

Tabela 18 – Fitotoxicidade (%) aos 10, 20 e 30 dias após a aplicação dos tratamentos (DAT) de plantas de arroz submetidas à aplicação de herbicidas pós-emergentes. FAEM/UFPel, Capão do Leão/RS, 2013/14.

Tratamento	Fitotoxicidade (%)		
	10 DAT	20 DAT	30 DAT
Testemunha	0 d ¹	0 d	0 b
Imazapir + Imazapique	3,0 cd	1,7 bc	0 b
Quincloraque	5,8 bc	2,0 bc	0 b
Penoxsulam	5,8 bc	1,0 cd	0 b
Bispiribaque-sódico	11,3 a	5,5 a	3,8 a
Carfentrazone-etílica	6,5 b	2,8 b	0,5 b
CV (%)	38,1	38,0	83,8

¹ médias seguidas por letras distintas na coluna diferem pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$).

O principal mecanismo de seletividade do herbicida é o metabolismo diferencial entre as plantas daninhas e espécies cultivadas, sendo as plantas daninhas normalmente menos eficientes em metabolizar o herbicida (DEVINE; DUKE; FEDTKE, 1993; COLE, 1994). Em plantas, o metabolismo diferencial de herbicidas é caracterizado pela conversão da molécula com atividade herbicida em compostos menos tóxicos para serem armazenados, não afetando a sobrevivência das células da planta. As espécies de plantas que possuem tal mecanismo podem alterar o grau da molécula herbicida por meio de reações bioquímicas que produzem produtos não-tóxicos (OLIVEIRA JR, 2001).

O metabolismo do herbicida pode ser causado por processo metabólico natural de desintoxicação das plantas, geralmente classificado em quatro fases principais (YUAN; TRANEL; STEWART, 2007): fase I, também conhecida como a conversão; fase II ou conjugação; fase III ou conversão secundária e transporte para o vacúolo; e fase IV com deposição do metabolito final (DEVINE; DUKE; FEDTKE, 1993; COLE, 1994; EERD et al., 2003; YUAN; TRANEL; STEWART, 2007).

Durante a fase I do metabolismo do herbicida, as moléculas sofrem modificações químicas, tais como oxidação; redução; hidrólise; oxigenação; ou hidroxilação tornando a molécula mais hidrófila, e, portanto, menos fitotóxica (DEVINE; DUKE; FEDTKE, 1993; EERD et al, 2003; EDWARD et al, 2005; YUAN;

TRANEL; STEWART, 2007). A enzima mais importante envolvida nessa fase é a citocromo P450 monooxigenases (EERD et al, 2003; YUAN; TRANEL; STEWART, 2007), sendo constituída de proteínas ligadas à membrana que catalisam reações de oxirredução de substratos endógenos e de xenobióticos (BOLWELL; BOZAK; ZIMMRELIN, 1994; PERSANS; WANG; SCHULER, 2001; HATZIOS; BURGOS, 2004; EDWARDS et al, 2005). A citocromo P450 monooxigenase é uma grande família de enzimas responsáveis pela adição de um átomo de oxigênio para substratos hidrofóbicos (BOLWELL; BOZAK; ZIMMRELIN, 1994). Os grupos de herbicidas mais sensíveis à ação da citocromo P450 monooxigenase são as sulfonilureias e imidazolinonas (CARVALHO et al., 2009).

Durante a fase II, a molécula herbicida ou do metabólito derivado de fase I é conjugado com açúcares, aminoácidos ou com o tripeptido glutationa, aumentando a solubilidade em água, enquanto reduz a fitotoxicidade. Muitos herbicidas que contêm radicais específicos na sua molécula pode ser diretamente conjugados, começando o seu metabolismo diretamente na fase II (DEVINE; DUKE; FEDTKE, 1993). De modo geral, os metabolitos da fase II têm baixa ou nenhuma atividade herbicida, e podem ser armazenadas em organelas celulares (EERD et al., 2003). As glutathione-S-transferases (GST) são as enzimas responsáveis pela conjugação dos herbicidas com glutathione (DEVINE; DUKE; FEDTKE, 1993; COLE, 1994; MCGONIGLE et al., 1998; EERD et al., 2003).

Durante a fase III, os metabólitos derivados de fase II são transportados para o vacúolo principalmente através de transportadores ABC (YUAN; TRANEL; STEWART, 2007). Conjugações secundárias também podem ocorrer durante a fase III, dando origem a compostos não fitotóxicos (HATZIOS, 1991). Posteriormente, na fase IV, os metabólitos do processo de desintoxicação e compartimentalização, podem ser associados aos componentes da parede celular (pectina, lignina, polissacarídeos e frações de proteína) que formam os resíduos insolúveis (PILLMOOR; GAUNT; ROBERTS, 1984; LANGEBARTELS; HARMS, 1985; COLE, 1994; EDWARDS et al., 2005).

Houve redução da estatura de plantas de arroz quando submetidas à aplicação de oxadiazona, nas duas épocas de avaliação (tab. 19). Este resultado pode ser decorrente da maior fitotoxicidade do herbicida ou da menor competição pelo recurso luz em função da ocorrência de morte de plantas. Efeito semelhante foi observado em plantas tratadas com oxadiazona nas doses de 1000 e 1500 g ia ha⁻¹,

em duas condições de disponibilidade de água no solo, onde se observou redução da estatura de plantas de arroz tanto em solo aerado quanto na presença de lâmina de água (CHAUHAN; JOHNSON, 2011). Na avaliação aos 20 DAT, nas parcelas tratadas com o herbicida clomazona, as plantas de arroz apresentaram maior estatura, sendo esse valor superior a testemunha, o que pode ser decorrente do controle exercido sobre as plantas daninhas favorecendo a cultura

Tabela 19 – Estatura aos 10 e 20 dias após a emergência (DAE) de plantas de arroz submetidas à aplicação de herbicidas pré-emergentes. FAEM/UFPel, Capão do Leão/RS, 2013/14.

Tratamento	Estatura (cm)	
	10 DAE	20 DAE
Testemunha	13,5 ab ¹	24,2 b
Clomazona	14,0 a	26,3 a
Oxadiazona	10,8 c	21,0 c
Pendimetalina	12,0 bc	25,0 b
CV (%)	8,5	2,9

¹ médias seguidas por letras distintas na coluna diferem pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$).

No segundo experimento, não se observou redução da estatura de plantas de arroz em função da aplicação de herbicidas quando comparado à testemunha aos 10 DAT (tab. 20). No entanto, aos 20 DAT, verificou-se que a aplicação de bispiribaque-sódico resultou em redução da estatura. O bispiribaque-sódico é herbicida inibidor da acetolactato sintase (ALS), o qual pode reduzir o transporte de fotoassimilados das folhas para as raízes, resultando em redução do crescimento da raiz (DEVINE, 1989). O bispiribaque-sódico pode causar tanto injúrias foliares quanto radiculares devido a sua aplicação (BRAVERMAN; JORDAN, 1996), podendo resultar em redução de até 65% na massa seca das raízes em comparação com a testemunha não tratada (BOND et al., 2007).

Tabela 20 – Estatura aos 10 e 20 dias após a aplicação dos tratamentos (DAT) de plantas de arroz submetidas à aplicação de herbicidas pós-emergentes. FAEM/UFPel, Capão do Leão/RS, 2013/14.

Tratamento	Estatura	
	10 DAT	20 DAT
Testemunha	31,8 abc ¹	45,5 a
Imazapir + Imazapique	34,8 ab	46,7 a
Quincloraque	35,1 a	45,4 a
Penoxsulam	34,2 ab	44,5 ab
Bispiribaque-sódico	28,9 c	41,3 b
Carfentrazone-etílica	31,7 bc	42,8 ab
CV (%)	5,6	5,4

¹ médias seguidas por letras distintas na coluna diferem pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$).

Verificou-se que a aplicação de oxadiazona e pendimetalina resultou em menor acúmulo de massa seca da parte aérea aos 10 DAE (tab. 21). Além disso, foi verificado aumento no número de filhinhos por planta em função da aplicação de pendimetalina em relação a testemunha (tab. 21). O maior número de filhinhos pode ser decorrente da ausência de plantas daninhas em função do controle exercido pelo herbicida, proporcionando maior área livre de infestação e favorecendo o afilamento, sendo este ponto chave para alcançar altas produtividades (CHAUHAN; JOHNSON, 2011). Além disso, a produtividade dos filhinhos está relacionada com a taxa de desenvolvimento destes em relação ao colmo principal (POLETTTO et al., 2011), sendo que a competitividade entre plantas acelera o desenvolvimento do colmo principal em detrimento de seus filhinhos, podendo ocasionar seu abortamento.

Tabela 21 – Massa seca da parte aérea aos 10 DAE e número de afilhos por planta aos 30 dias após a emergência (DAE) e de plantas de arroz submetidas à aplicação de herbicidas pré-emergentes. FAEM/UFPel, Capão do Leão/RS, 2013/14.

Tratamento	MSPA	Afilhos planta ⁻¹
Testemunha	0,95 a ¹	1,67 b
Clomazona	0,77 a	2,10 ab
Oxadiazona	0,17 b	2,41 ab
Pendimetalina	0,40 b	2,80 a
CV (%)	25,0	23,8

¹ médias seguidas por letras distintas na coluna diferem pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$).

No início do desenvolvimento as plantas estimulam a emissão, o desenvolvimento e a sobrevivência dos afilhos (WANG; BELOW, 1996; QIAN et al., 2004). A emissão precoce dos afilhos é importante para que estes mantenham o sincronismo de desenvolvimento foliar com o colmo principal (MUNDSTOCK; BREDEMEIER, 2001) e potencializem a produção de maior número de panículas (NEMOTO; MORITA; BABA, 1995; AWAN et al., 2007). O potencial produtivo do arroz é influenciado pelo número de panículas por metro quadrado (MILLER; HILL; ROBERTS, 1991; FAGERIA, 2007) o qual, por sua vez, é dependente da emissão e do desenvolvimento de afilhos durante o estágio vegetativo nessa cultura. Os afilhos primários são emitidos durante o início do crescimento vegetativo (COUNCE; KEISLING; MITCHELL, 2000) e estes, depois de emitidos, podem ou não se tornar produtivos durante o ciclo de desenvolvimento do arroz (NEMOTO; MORITA; BABA, 1995), em função de diversos fatores.

Em relação aos herbicidas pós-emergentes, observou-se redução da massa seca da parte aérea em função da aplicação de bispiripaque-sódico (20 e 30 DAT) e carfentrazona-etílica (30 DAT), comparativamente a testemunha, sendo que entre estes tratamentos, aos 30 DAT, não se verificou diferença (tab. 22).

Tabela 22 – Massa seca da parte aérea aos 20 e 30 dias após a aplicação dos tratamentos (DAT) de plantas de arroz submetidas à aplicação de herbicidas pós-emergentes. FAEM/UFPel, Capão do Leão/RS, 2013/14.

Tratamento	MSPA	
	20 DAT	30 DAT
Testemunha	25,4 a ¹	64,7 a
Imazapir + Imazapique	22,6 a	50,5 ab
Quincloraque	23,7 a	53,3 ab
Penoxsulam	26,7 a	54,6 ab
Bispiribaque-sódico	10,9 b	40,5 b
Carfentrazone-etílica	24,3 a	44,2 b
CV (%)	26,2	20,1

¹ médias seguidas por letras distintas na coluna diferem pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$).

O menor acúmulo de massa seca da parte aérea observado pela aplicação herbicidas bispiribaque-sódico e carfentrazone-etílica corroboram com os dados de fitotoxicidade, ou seja, ao mesmo tempo em que ocasionaram a maior fitotoxicidade, também reduziram a massa seca da parte aérea. Com base nesses resultados é possível afirmar que, embora os sintomas não tenham sido acentuados a ponto de causar morte das plantas, ambos herbicidas foram menos seletivos para a cultura do arroz. Em estudo avaliando a seletividade de herbicidas na cultura do arroz em terras altas, foi observado que o herbicida bispiribaque-sódico reduziu a massa seca da parte aérea (PETTER; ZUFFO; PACHECO; 2011). No entanto, em estudo semelhante, observou-se que mesmo alterando as variáveis fisiológicas, a utilização dos herbicidas não alterou a massa seca das plantas (PIESANTI et al., 2012).

Quando avaliado o número de grãos por panícula não se verificou diferença dos herbicidas pré-emergentes em relação a testemunha (tab. 23). No entanto, entre herbicidas, o maior número de grãos por panícula foi observado nas plantas tratadas com oxadiazona. Este resultado pode ser decorrente da menor competição intraespecífica, em função da redução do estande de plantas pela ação do herbicida, conforme discutido anteriormente.

Em relação a produtividade de grãos, observou-se que a aplicação de herbicidas pré-emergentes resultou em maior produtividade em relação à

testemunha (tab. 23). Isso se deve ao fato de que os herbicidas quando aplicados em pré-emergência, controlam as plantas daninhas evitando a competição inicial com a cultura e garantindo que a cultura seja mais competitiva que as plantas daninhas. Cabe destacar que para o herbicida oxadiazona a elevada o maior número de grãos por panícula compensou em termos de produtividade os efeitos fitotóxicos observados.

Tabela 23 – Número de grãos por panícula e produtividade de plantas de arroz submetidas a aplicação de herbicidas pré-emergentes. FAEM/UFPeI, Capão do Leão/RS, 2013/14.

Tratamento	Grãos panícula ⁻¹	Produtividade (Kg ha ⁻¹)
Testemunha	116,4 ab ¹	9825 b
Clomazona	99,6 b	10849 a
Oxadiazona	129,9 a	10367 a
Pendimetalina	101,5 b	10734 a
CV (%)	12,1	2,6

¹ médias seguidas por letras distintas na coluna diferem pelo teste de Duncan (p≤0,05).

A interferência das plantas daninhas pode causar redução de 15 a 80% na produtividade de grãos (KOZLOWSKI et al., 2002; SALGADO et al., 2007; BARROSO; YAMAUTI; ALVES, 2010; SCHOLTEN; PARREIRA; ALVES, 2011), em função da competição pelos recursos essenciais ao crescimento e ao desenvolvimento das culturas. Quando não controladas adequadamente, as plantas daninhas, além de competirem por água, luz e nutrientes e liberarem substâncias alelopáticas, interferem na colheita e são hospedeiras de diversos insetos-pragas, nematoides e agentes patogênicos causadores de doenças (SILVA et al., 2007). O grau de interferência das plantas daninhas é condicionado, principalmente, pela época, duração do período de convivência com a cultura, espécie e população da planta daninha e também pelo manejo utilizado. Dessa forma, torna-se imprescindível conhecer os períodos de interferência das plantas daninhas com a cultura (CIUBERKIS et al. 2007; SCHUSTER et al., 2013).

Na prática, os efeitos da interferência quando prolongada são irreversíveis, não havendo recuperação do desenvolvimento ou da produtividade após a retirada do estresse causado pela presença das plantas daninhas. Dessa forma, em termos

de manejo de plantas daninhas, o período anterior a interferência (PAI) torna-se o período de maior importância do ciclo cultural, a partir do qual a produtividade é significativamente afetada (AGOSTINETTO et al., 2007).

Como verificado neste estudo, a aplicação de produtos em pré-emergência é alternativa ao produtor para controle de plantas daninhas. Esta ferramenta utilizada para o controle antecipado pode propiciar menor concorrência por recursos desde o início do desenvolvimento das plantas de arroz e também favorecer a entrada de água antecipada na lavoura (CONCENÇO et al., 2006). Além disso, em áreas com alta infestação de plantas daninhas, principalmente arroz-vermelho, algumas plantas que escapem deste controle inicial poderão ser controladas com aplicação de herbicidas pós-emergentes.

Quando comparados os herbicidas pós-emergentes, verificou-se maior produtividade no tratamento com quincloraque, comparativamente a testemunha (tab. 24). Os demais tratamentos não diferiram da testemunha, no entanto, numericamente, observou-se que os herbicidas imazapir + imazapique, penoxsulam e carfentrazone-etílica proporcionaram em média aumento de 8, 3 e 3%, respectivamente na produtividade de grãos, o que pode ser decorrente da maior eficiência de controle comparado ao cialofope-butílico utilizado na testemunha. A menor produtividade obtida no tratamento com bispiribaque-sódico está relacionada com a maior fitotoxicidade, redução da estatura e menor acúmulo de massa seca da parte aérea verificada neste estudo, sendo este herbicida menos seletivo para a cultura. O mesmo foi observado em estudo semelhante, onde além de causar injúrias a cultura do arroz, o herbicida bispiribaque-sódico reduziu a produtividade em comparação com a tesmunha (PETTER; ZUFFO; PACHECO; 2011).

Em geral, os herbicidas pré-emergentes resultaram em maior produtividade de grãos quando comparado aos pós emergentes, sendo esse aumento de 4% ou aproximadamente 400 kg ha⁻¹. Esse resultado se deve ao eficiente controle dos herbicidas pré-emergentes sobre a emergência de plantas daninhas e dessa forma, a aplicação de herbicidas em pré-emergência da cultura consiste em alternativa para o controle de plantas daninhas resistentes presentes nas lavouras de arroz.

Tabela 24 – Produtividade de plantas de arroz submetidas a aplicação de herbicidas pós-emergentes. FAEM/UFPeL, Capão do Leão/RS, 2013/14.

Tratamento	Produtividade (Kg ha ⁻¹)
Testemunha	9825 bc ¹
Imazapir + Imazapique	10644 ab
Quincloraque	10778 a
Penoxsulam	10131 abc
Bispiribaque-sódico	9599 c
Carfentrazone-etílica	10112 abc
CV (%)	4,7

¹ médias seguidas por letras distintas na coluna diferem pelo teste de Duncan (p≤0,05).

O capim-arroz (*Echinochloa* spp.) ocorre com grande frequência e distribuição em todas as regiões produtoras de arroz e é uma das principais plantas daninhas que infestam lavouras de arroz no Sul do Brasil (ANDRES et al., 2007). Esta planta daninha é altamente competitiva com arroz, devido à sua adaptação a ambientes alagados, grande produção de sementes, crescimento rápido e de mecanismo fotossintético C₄ (MARAMBE; AMARASINGLE, 2002). Dessa forma, acredita-se que a maior produtividade obtida para o tratamento com quincloraque pode estar associada ao eficiente controle do capim-arroz pela utilização deste herbicida, considerando que as plantas presentes na área não apresentam resistência a este ingrediente ativo.

Quando avaliada a qualidade fisiológica das sementes, verificou-se maior índice de velocidade de germinação em sementes de plantas submetidas à aplicação pré-emergente dos herbicidas clomazona e pendimetalina, enquanto que as plantas tratadas com oxadiazona não diferiram da testemunha (tab. 25). Em relação ao vigor, através do teste de envelhecimento acelerado, observou-se redução do mesmo em função da menor porcentagem de plântulas normais devido à aplicação pendimetalina. Este herbicida pertence ao grupo das dinitroanilinas caracterizados como inibidor da divisão celular. Seu mecanismo consiste em ligar-se à tubulina, principal proteína componente dos microtúbulos, os quais orientam os cromossomos durante a anáfase da mitose. Assim, durante a divisão celular não ocorre a divisão dos cromossomos e o resultado é a formação de células com número anormal de cromossomos (RIZZARDI et al., 2004). As gramíneas que

conseguem emergir sob efeito de pendimetalina, apresentam raízes atrofiadas, sem alongação e em forma de toco (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011). Dessa forma, o mecanismo de ação pode explicar o menor número de plântulas normais obtidos quando aplicado tal herbicida.

Tabela 25 – Índice de velocidade de germinação (IVG) e envelhecimento acelerado de plantas de arroz submetidas a aplicação de herbicidas pré-emergentes. FAEM/UFPel, Capão do Leão/RS, 2013/14.

Tratamento	IVG	Plântulas normais (%)
Testemunha	46,3 b ¹	67,5 a
Clomazona	48,9 a	76,5 a
Oxadiazona	44,7 b	68,5 a
Pendimetalina	48,6 a	51,0 b
CV (%)	6,2	11,8

¹ médias seguidas por letras distintas na coluna diferem pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$).

A qualidade fisiológica das sementes tem sido caracterizada pela germinação e pelo vigor. Vigor de sementes é a soma de atributos que confere a semente o potencial para germinar, emergir e resultar rapidamente em plântulas normais sob ampla diversidade de condições ambientais (HÖFS et al., 2004), proporcionando o rápido e uniforme estabelecimento da população adequada de plantas no campo (MARCOS FILHO, 1999).

O vigor de sementes, também, pode ser avaliado por meio da condutividade elétrica. O teste de condutividade elétrica visa avaliar a quantidade de íons presentes na água de embebição e, indiretamente, o vigor das sementes, baseando-se no fato de que o vigor está relacionado à integridade do sistema de membranas celulares (MARCOS FILHO; CÍCERO; SILVA, 1987). Desta maneira, durante o processo de embebição, há liberação de solutos citoplasmáticos em intensidade proporcional ao estado de desorganização das membranas. Assim, as sementes mais deterioradas ou danificadas liberam maiores quantidades de exsudatos e, consequentemente, apresentam maior valor de condutividade. Os testes de vigor têm sido utilizados principalmente para complementar as informações fornecidas pelo teste de germinação (KRZYZANOWSKI; VIEIRA; FRANÇA-NETO, 1999). Quando avaliado o vigor das sementes através do teste da condutividade elétrica, em geral,

observou-se maior capacidade de organização de membranas em sementes oriundas de plantas submetidas à aplicação de quincloraque, em relação à testemunha (tab. 26).

Tabela 26 – Condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$) de plantas de arroz submetidas à aplicação de herbicidas pós-emergentes. FAEM/UFPeI, Capão do Leão/RS, 2013/14.

Tratamento	0h	2h	4h	6h	8h	24h
Testemunha	5,1 a ¹	15,4 ab	23,2 ab	28,9 a	33,8 a	52,5 a
Imazapir + Imazapique	5,3 a	15,9 a	20,3 ab	26,3 a	32,6 a	51,0 a
Quincloraque	3,2 b	9,6 b	14,6 b	20,1 b	24,9 b	42,5 b
Penoxsulam	4,7 ab	15,9 a	23,3 a	30,1 a	35,6 a	57,3 a
Bispiribaque- sódico	4,4 ab	13,6 ab	19,8 ab	25,8 a	30,8 ab	50,4 ab
Carfentrazone- etílica	4,3 ab	14,3 ab	22,1 a	27,4 a	32,2 a	52,5 a
CV (%)	25,5	26,4	19,6	13,9	13,2	10,5

¹ médias seguidas por letras distintas na coluna diferem pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$).

Quando consideramos o manejo integrado de plantas daninhas, o vigor das sementes é de fundamental importância, pois tem ligação direta com a habilidade competitiva das plantas. A utilização de cultivares com elevada capacidade competitiva é importante para o manejo cultural de plantas daninhas, pois as plantas mais competitivas geralmente são as primeiras a emergir, indicando que a época de emergência torna-se mais importante do que o arranjo espacial de indivíduos na determinação do potencial competitivo dessa população de plantas (FISCHER; MILES, 1973).

O incremento da capacidade competitiva de plantas é atribuído a emergência precoce, elevado vigor de plântulas, rapidez de expansão foliar, formação de dossel denso, elevada estatura de planta, ciclo de desenvolvimento longo e rápido crescimento do sistema radicular (SEIBERT; PEARCE, 1993; ROMAN et al., 1999; SEEFELDT; OGG; HOU, 1999; BENNETT; SHAW, 2000; HORAK; LOUGHIN, 2000). Plantas que possuem emergência rápida e uniforme

conseguem competir mais eficientemente pelos recursos do meio (DIARRA; SMITH JR; TALBERT, 1985; SHURTLEFF; COBLE, 1985; ROMAN et al., 1999; NI et al., 2000). As primeiras plântulas a emergir, provavelmente, apresentarão maior produtividade, porque elas adquirem prioridade na utilização de água, luz e nutrientes; ou seja, ocupam precocemente o nicho (FIRBANK; WATKINSON, 1985).

Ao fazer a análise de Correlação de Pearson para as variáveis avaliadas, observou-se para ambos os experimentos, correlações positivas e negativas (tab. 27 e 28). Das 91 possíveis correlações, apenas 23 e 20%, para o experimento com herbicidas pré e pós-emergentes, respectivamente, foram significativas. Destas, 40% foram positivas para os herbicidas pré-emergentes e 33% para os pós-emergentes.

Para os herbicidas pré-emergentes, em geral, verificou-se correlação negativa para as variáveis estatura aos 10, 20 e 30 DAT e fitotoxicidade aos 10 e 20 DAT, bem como para as variáveis massa seca da parte aérea aos 10 DAT e fitotoxicidade aos 10, 20 e 30 DAT (tab. 27). Além disso, observou-se correlação negativa entre o número de grãos por panícula e a estatura, indicando que plantas menores produzem maior número de grãos. No entanto, entre as variáveis, produtividade e número de afilhos por planta foi verificado correlação positiva (0,74*), ou seja, ao passo que aumenta o número de afilhos há também maior produtividade.

Para os herbicidas pós-emergentes, em geral, verificou-se correlação negativa entre fitotoxicidade e estatura, massa seca da parte aérea e produtividade (tab. 28). Sendo assim, conforme aumentou a fitotoxicidade ocasionada pelos herbicidas, reduziu a estatura, a massa seca da parte aérea e a produtividade de grãos, mesmo não sendo verificada correlação entre fitotoxicidade e os componentes da produtividade.

Tabela 27 – Correlação de Pearson para as variáveis estatura (EST), massa seca da parte aérea (MSPA) e fitotoxicidade (FITO) aos 10, 20 e 30 dias após a aplicação dos tratamentos, número de afilhos por planta, peso de mil grãos, número de grãos por panícula, número de grãos vazios e produtividade em plantas de arroz submetidas à aplicação de herbicidas pré-emergentes. FAEM/UFPel, Capão do Leão/RS, 2013/14.

	Est 10 DAE	Est 20 DAE	Est 30 DAE	MSPA 10 DAE	MSPA 20 DAE	MSPA 30 DAE	Fito 10 DAE	Fito 20 DAE	Fito 30 DAE	Afilho planta ⁻¹	Peso de mil grãos	Grãos panícula ⁻¹	Grãos vazios	Produtividade
Est 10 DAE	---													
Est 20 DAE	0,71 ^{*1}	---												
Est 30 DAE	0,14 ^{ns}	0,11 ^{ns}	---											
MSPA 10 DAE	0,67 [*]	0,58 [*]	0,23 ^{ns}	---										
MSPA 20 DAE	0,11 ^{ns}	0,31 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	0,44 ^{ns}	---									
MSPA 30 DAE	0,23 ^{ns}	0,48 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,52 ^{ns}	0,58 [*]	---								
Fito 10 DAE	-0,62 [*]	-0,65 [*]	-0,15 ^{ns}	-0,73 [*]	-0,47 ^{ns}	-0,53 [*]	---							
Fito 20 DAE	-0,60 [*]	-0,63 [*]	-0,39 ^{ns}	-0,75 [*]	-0,35 ^{ns}	-0,47 ^{ns}	0,82 [*]	---						
Fito 30 DAE	-0,54 [*]	-0,73 [*]	-0,25 ^{ns}	-0,66 [*]	-0,48 ^{ns}	-0,42 ^{ns}	0,71 [*]	0,88 [*]	---					
Afilho planta ⁻¹	-0,48 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	0,09 ^{ns}	-0,59 [*]	-0,09 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,29 ^{ns}	---				
Peso de mil grãos	0,06 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,17 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	0,46 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,18 ^{ns}	---			
Grãos panícula ⁻¹	-0,25 ^{ns}	-0,61 [*]	-0,04 ^{ns}	-0,25 ^{ns}	-0,29 ^{ns}	-0,43 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,42 ^{ns}	-0,22 ^{ns}	0,05 ^{ns}	---		
Grãos vazios	-0,11 ^{ns}	0,04 ^{ns}	-0,16 ^{ns}	-0,24 ^{ns}	-0,29 ^{ns}	-0,34 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,43 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	0,18 ^{ns}	---	
Produtividade	-0,14 ^{ns}	0,38 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	-0,31 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,74 [*]	0,01 ^{ns}	-0,41 ^{ns}	0,44 ^{ns}	---

¹ * significativo e ^{ns} não significativo a p≤0,05.

Tabela 28– Correlação de Pearson para as variáveis estatura (EST), massa seca da parte aérea (MSPA) e fitotoxicidade (FITO) aos 10, 20 e 30 dias após a aplicação dos tratamentos, número de afilhos por planta, peso de mil grãos, número de grãos por panícula, número de grãos vazios e produtividade em plantas de arroz submetidas à aplicação de herbicidas pós-emergentes. FAEM/UFPel, Capão do Leão/RS, 2013/14.

	Est 10 DAE	Est 20 DAE	Est 30 DAE	MSPA 10 DAE	MSPA 20 DAE	MSPA 30 DAE	Fito 10 DAE	Fito 20 DAE	Fito 30 DAE	Afilho planta ⁻¹	Peso de mil grãos	Grãos panícula ⁻¹	Grãos vazios	Produtividade
Est 10 DAE	---													
Est 20 DAE	0,48 ^{*1}	---												
Est 30 DAE	-0,10 ^{ns}	0,33 ^{ns}	---											
MSPA 10 DAE	0,19 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,03 ^{ns}	---										
MSPA 20 DAE	0,33 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	-0,17 ^{ns}	0,48 ^{ns}	---									
MSPA 30 DAE	0,52 [*]	0,27 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,53 [*]	---								
Fito 10 DAE	-0,60 [*]	-0,51 [*]	-0,18 ^{ns}	-0,20 ^{ns}	-0,47 [*]	-0,54 [*]	---							
Fito 20 DAE	-0,57 [*]	-0,39 ^{ns}	0,06 ^{ns}	-0,13 ^{ns}	-0,61 [*]	-0,68 [*]	0,79 [*]	---						
Fito 30 DAE	-0,74 [*]	-0,47 [*]	0,17 ^{ns}	-0,14 ^{ns}	-0,59 [*]	-0,49 [*]	0,71 [*]	0,84 [*]	---					
Afilho planta ⁻¹	0,10 ^{ns}	0,02 ^{ns}	-0,24 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,03 ^{ns}	-0,28 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,07 ^{ns}	-0,12 ^{ns}	---				
Peso de mil grãos	-0,01 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,38 ^{ns}	-0,12 ^{ns}	-0,22 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,06 ^{ns}	---			
Grãos panícula ⁻¹	-0,14 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,16 ^{ns}	-0,34 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,32 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	0,10 ^{ns}	---		
Grãos vazios	-0,33 ^{ns}	-0,27 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	-0,25 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	-0,36 ^{ns}	0,35 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,30 ^{ns}	-0,17 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,04 ^{ns}	---	
Produtividade	0,40 ^{ns}	0,40 ^{ns}	-0,37 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,02 ^{ns}	-0,21 ^{ns}	-0,23 ^{ns}	-0,51 [*]	0,13 ^{ns}	-0,05 ^{ns}	-0,39 ^{ns}	0,15 ^{ns}	---

¹ * significativo e ^{ns} não significativo a $p \leq 0,05$.

3.4 Conclusões

Os herbicidas oxadiazona e bispiribaque-sódico, quando aplicados em pré e pós-emergência, respectivamente causam maior fitotoxicidade e reduzem a estatura de plantas de arroz. Já oxadiazona e pendimetalina, em pré-emergência e bispiribaque-sódico e carfentrazone-etílica, em pós-emergência, reduzem a massa seca da parte aérea das plantas de arroz.

Os herbicidas aplicados em pré-emergência proporcionam maior produtividade de grãos em comparação com a testemunha, enquanto que em pós-emergência apenas quincloraque apresenta esse efeito.

Em geral, os herbicidas não alteram a qualidade fisiológica das sementes de arroz, podendo ser utilizados como método de controle de plantas daninhas.

4 CAPÍTULO III – Utilização de adubação nitrogenada para recuperação de fitotoxicidade de herbicidas ao arroz

4.1 Introdução

O arroz é considerado o produto de maior importância econômica em muitos países em desenvolvimento (DUAN et al., 2007; GHOSH; BHAT,1998). Com o aumento crescente de consumo, influenciado pelo crescimento populacional, impõe-se ao setor produtivo a busca de novas técnicas que possam aumentar a produção (FAO, 2015).

Dentre os problemas encontrados no manejo da cultura, a interferência das plantas daninhas pode causar redução de 80 a 90% na produtividade de grãos do arroz irrigado (ANDRES; MACHADO, 2004). A interferência direta mais conhecida é a competição das plantas daninhas por luz, água e nutrientes, constituindo um dos principais fatores limitantes da produtividade nas lavouras de arroz irrigado (ANDRES; MACHADO, 2004) e tornando o manejo componente importante para que a sustentabilidade do cultivo seja atingida.

A fim de evitar as perdas decorrentes da competição com plantas daninhas, vários manejos fitossanitários são utilizados, sendo o controle químico, a principal ferramenta de controle das plantas daninhas nas áreas de arroz irrigado. Outra prática utilizada que interfere na relação cultura/plantas daninhas é a adubação nitrogenada, a qual além de ser essencial para o crescimento das plantas, pode acelerar a recuperação dessas sob efeito tóxico de herbicida (MARIOT et al., 2003).

O nitrogênio (N) é nutriente essencial para todas as espécies de plantas pois é componente chave de vários compostos orgânicos como clorofilas, citocromos, enzimas e coenzimas (CAMPESTRINI et al., 2014), os quais participam da fotossíntese (TAYLARAN et al., 2011), produção e acúmulo de massa seca (FENG

et al., 2009) e na formação da panícula do arroz (KAMIJI et al., 2011; ZHANG et al., 2013). Foi comprovado que a fertilização com N é umas das melhores formas de garantir a produtividade da cultura do arroz (KAMIJI et al., 2011; WANG et al., 2012; ZHANG et al., 2013). O N contribui para o aumento da área foliar da planta que, por sua vez, aumenta a eficiência de intercepção da radiação solar e da taxa fotossintética, consequentemente, melhora-se a produtividade de grãos (FAGERIA; SLATON; BALIGAR, 2003). No entanto, esse nutriente pode sofrer várias transformações, sendo que algumas delas resultam em perdas, principalmente pelo processo de desnitrificação e volatilização (VAHL; SOUZA, 2004). Além disso, o uso excessivo de fertilizantes nitrogenados provoca problemas, como por exemplo, a poluição ambiental (BHATTACHARYYA et al., 2012; GUO et al., 2010; XIE et al., 2007) os riscos para a saúde humana (JU et al., 2004; XING et al., 2001) e redução da eficiência do uso de N (CHEN, 2009; PENG et al., 2006).

As épocas de aplicação de N são pré-determinadas em duas coberturas, sendo metade da dose precedendo ou no início do afilhamento, estágio V_3/V_4 , e a outra metade deve ser aplicada de modo que a planta tenha a seu dispor ótimo suprimento desse nutriente na diferenciação da panícula, ou seja, no estágio R_0 (SOSBAI, 2012; BARBOSA FILHO; FAGERIA, 2013). A combinação de dose e época apropriadas, não só reduz o custo de produção e a poluição ambiental, como também resulta em melhor desempenho do arroz irrigado, refletindo na produtividade de grãos (FAGERIA; SANTOS; COELHO, 2011).

Para que haja o completo enchimento, os grãos necessitam converter a energia luminosa em carbono através da fotossíntese, bem como do N absorvido pelas raízes e remobilizado pelas folhas (POMMEL et al., 2006). No entanto, existe conflito potencial entre a manutenção da demanda fotossintética e o desdobramento das proteínas fotossintéticas em aminoácidos para translocação (MURCHIE et al., 2002), já que a maior parte do N foliar encontra-se nos cloroplastos. Sendo assim, o manejo da adubação nitrogenada, em função das épocas de aplicação, pode alterar o desempenho fotossintético da planta durante o enchimento de grãos, refletindo na duração e na taxa de acúmulo de massa seca (CAMARGO et al., 2011).

Vários trabalhos mostram a importância do N no incremento da produtividade de grãos de arroz (FARINELLI et al., 2004; MEIRA et al., 2005; BUZETTI et al., 2006). Contudo, faltam estudos relacionados à época de aplicação como estratégia para recuperação da fitotoxicidade causada por herbicidas, o que

também é fundamental, uma vez que fertilizantes apresentam comportamento diferenciado quando aplicados ao solo seco ou na água.

A época da adubação pode influenciar no comportamento das plantas de arroz, pois uma das estratégias de seletividade do herbicida está relacionada à menor translocação do herbicida comparado com a planta daninha (OLIVEIRA JR; CONSTANTIN; INOUE, 2011). No entanto, o suprimento do N antes da aplicação do herbicida pode provocar aumento da translocação e ocasionar maiores injúrias na cultura. A adubação nitrogenada quando aplicada quatro dias antes e no mesmo dia da aplicação de clefoxydim reduziram o porte das plantas de arroz (FERREIRA et al., 2002). Contudo, fitotoxicidade depende da interação entre época de aplicação de N, dose, herbicidas, cultura e manejo da água. Diante disso, o objetivo do estudo foi avaliar a seletividade de herbicidas em função da época de aplicação de nitrogênio na cultura do arroz irrigado.

4.2 Material e Métodos

O experimento foi conduzido no Centro Agropecuário da Palma (CAP) da Universidade Federal de Pelotas, no ano agrícola 2013/14. O delineamento experimental foi em parcelas subdivididas com quatro repetições, sendo cada unidade experimental composta de subparcela com área útil de 6,12 m² (4 x 1,53 m).

O preparo da área foi realizado conforme sistema convencional de cultivo do arroz, sendo a semeadura realizada no dia 31 de outubro de 2013, utilizando-se a cultivar Puitá INTA CL na densidade de 120 kg ha⁻¹. A adubação foi realizada através da utilização de 300 kg ha⁻¹ de adubo com formulação 2-20-20. As parcelas foram constituídas de épocas de aplicação de nitrogênio (sem nitrogênio; todo nitrogênio aplicado antes da entrada da água; metade do nitrogênio aplicado antes da entrada da água e outra metade depois; todo nitrogênio aplicado depois da entrada da água), sendo a quantidade de nitrogênio de 120 kg ha calculada em função da análise de solo. A irrigação por inundação foi realizada aos 22 dias após a emergência da cultura (DAE) quando as plantas estavam em estágio V4, sendo esta realizada dois dias após a aplicação dos herbicidas e um dia após a aplicação do nitrogênio. A aplicação referente a 100% do nitrogênio após a entrada da água foi realizada três dias após o início da irrigação por inundação. As subparcelas foram compostas pelos herbicidas quincloraque (375 g ia ha⁻¹), bentazona (960 g ia ha⁻¹),

bispiribaque-sódico (50 g ia ha⁻¹) e carfentrazone-etílica (200 g ia ha⁻¹), além da testemunha com aplicação de cialofope-butílico (315 g ia ha⁻¹). Os herbicidas foram aplicados 20 dias DAE, sendo as principais plantas daninhas presentes na área o capim-arroz (*Echinochloa* spp.) e as Ciperáceas (*Cyperus iria* e *Cyperus esculentus*). No momento da diferenciação da panícula foi realizada aplicação adicional de nitrogênio de 30 kg de N por hectare em todo o experimento, inclusive nos tratamentos sem N.

A pulverização foi realizada nas primeiras horas da manhã, utilizando-se pulverizador de pressão constante propelido por CO₂ e barra com quatro bicos Teejet 110.015 tipo leque, espaçados de 0,5 m, com volume de calda 120 L ha⁻¹. No momento da aplicação as condições meteorológicas apresentavam-se adequadas, sendo a umidade relativa de 72% e a temperatura 21°C. A fim de manter a área livre da presença de plantas daninhas, foi aplicado cialofope-butílico em área total dois dias após a aplicação dos herbicidas, já que havia sido constatado alta população de capim-arroz.

As variáveis de campo avaliadas foram estatura de plantas, massa seca da parte aérea e fitotoxicidade à cultura aos 10, 20 e 30 dias após a aplicação dos tratamentos (DAT). Aos 30 DAT também foi avaliado o número de afilhos por plantas, através de contagem manual do número de plantas e afilhos por metro.

Para a determinação da estatura foram mensuradas 10 plantas por unidade experimental. Para as avaliações de fitotoxicidade foram atribuídas notas visuais em escala percentual, em que a nota 0% significa nenhum efeito e a nota 100% representa morte completa das plantas (FRANS et al., 1986).

Antes da colheita foram coletadas 10 panículas da área útil de cada unidade experimental para determinação do número de grãos cheios e vazios por panícula. Cada panícula foi debulhada manualmente, e efetuada a contagem dos grãos cheios e estéreis por panícula. A produtividade de grãos do arroz foi determinada pela colheita da área útil das parcelas quando o teor de umidade aproximou-se de 22%. Em seguida foi realizada a pesagem dos grãos e determinada a umidade, corrigindo-se os dados para 13% de umidade. A produtividade foi expressa em kg ha⁻¹. O peso de mil grãos foi quantificado pela contagem manual de oito amostras de 100 grãos, sendo o valor corrigido para 1000 grãos e expresso em gramas.

Os dados foram analisados quanto à sua homocedasticidade e, posteriormente, submetidos à análise da variância ($p \leq 0,05$). No caso de verificada significância estatística, a comparação das médias foi realizada pelo teste de

Duncan ($p \leq 0,05$). A presença de correlações entre as variáveis dependentes do estudo foi analisada através do coeficiente de correlação de Pearson ($p \leq 0,05$), o qual mede o grau da correlação entre duas variáveis. O coeficiente de correlação Pearson (r) varia de -1 a 1, o sinal indica direção positiva ou negativa do relacionamento e o valor sugere a força da relação entre as variáveis.

4.3 Resultados e Discussão

Verificou-se interação entre os herbicidas e a época de aplicação de nitrogênio para as variáveis estatura e fitotoxicidade aos 10 DAT (tabs. 29 e 32). Houve efeito simples de herbicidas para as variáveis estatura (20 DAT), fitotoxicidade (20 e 30 DAT) e produtividade de grãos (tabs. 30, 33 e 36). Para as variáveis estatura (20 e 30 DAT), massa seca da parte aérea (10, 20 e 30 DAT), número de afilhos por planta, número de grãos vazios, produtividade de grãos e peso de mil grãos foi observado efeito simples de época de aplicação de nitrogênio (tabs. 31, 34, 35 e 37). Para a variável número de grãos por panícula não se verificou significância estatística (dados não apresentados).

Quando comparado os herbicidas, em geral, observou-se a maior redução de estatura das plantas de arroz quando aplicado o herbicida bispiribaque-sódico, sendo esse efeito verificado principalmente quando todo nitrogênio foi aplicado antes da entrada da água (tab. 29). Nesta mesma época, a aplicação de bentazona e carfentrazona-etílica também reduziu a estatura das plantas de arroz.

O bispiribaque-sódico é um inibidor da enzima acetolactato sintase, resultando em redução na síntese de aminoácido de cadeia ramifica como valina, leucina e isoleucina (ROMAN, 2007). O efeito fitotóxico caracterizado pela clorose é típico de herbicidas com ação fisiológica, ou seja, produtos com boa translocação e que interferem diretamente no metabolismo das plantas, como é o caso do bispiribaque-sódico (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011), muitas vezes resultando em redução da estatura de plantas.

Tabela 29 – Estatura (cm) aos 10 dias após a aplicação dos herbicidas (DAT) de plantas de arroz submetidas à aplicação de herbicidas pós-emergentes e em função da época de aplicação de nitrogênio. FAEM/UFPel, Capão do Leão/RS, 2013/14.

Herbicida	Estatura (cm)											
	Época de aplicação de nitrogênio											
	Sem N			Antes da água			Metade antes/ Metade depois			Depois da água		
Testemunha	28,2	B ¹	a	35,7	A	a	35,5	A	a	27,0	B	b
Quincloraque	30,7	B	a	37,7	A	a	35,5	A	a	30,7	B	a
Bentazona	29,3	BC	a	32,9	AB	b	35,6	A	a	28,0	C	ab
Bispiribaque-sódico	25,8	B	a	29,9	A	c	31,3	A	b	25,8	B	b
Carfentrazone-etílica	27,9	B	a	32,6	A	b	32,6	A	ab	28,8	B	ab

¹ médias seguidas por letras minúsculas na coluna diferem os herbicidas e por letras maiúscula na linha diferem as épocas de aplicação de nitrogênio pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$).

Quando comparadas as épocas de aplicação de nitrogênio a maior redução de estatura foi verificada para os tratamentos sem nitrogênio ou quando aplicou-se todo o nitrogênio depois da entrada da água. A menor estatura de plantas nos tratamentos em que 100% do N foi aplicado após a entrada da água pode ser em decorrências das perdas as quais os nutrientes estão sujeitos. Quando a ureia é aplicada diretamente na água ela está mais sujeita a perdas por volatilização de amônio e desnitrificação (VLEK; STUMPE; BYRNES, 1980; SIMPSON; FRENEY; WETSELAAR, 1984; HUMPHREYS et al., 1987; KATYAL; GADALLA, 1990), reduzindo o aproveitamento pelas plantas e consequentemente originando plantas menores.

Aos 20 DAT, a menor estatura de plantas de arroz foi verificada quando submetidas à aplicação de bispiribaque-sódico e carfentrazone-etílica, no entanto, estas não diferiram da testemunha (tab. 30). Essa redução também se dá em função do efeito fisiológico do herbicida, caracterizado pela paralisação do crescimento, como citado anteriormente. Resultados semelhantes foram observados para a

aplicação de bispiribaque-sódico na cultura do arroz em terras altas aos 7 e 14 DAT, resultando em redução da estatura (PETTER; ZUFFO; PACHECO, 2011).

Tabela 30 - Estatura (cm) aos 20 dias após a aplicação dos tratamentos (DAT) de plantas de arroz submetidas à aplicação de herbicidas pós-emergentes. FAEM/UFPel, Capão do Leão/RS, 2013/14.

Herbicida	Estatura (cm) (20 DAT)
Testemunha	41,8 ab ¹
Quincloraque	45,4 a
Bentazona	43,3 ab
Bispiribaque-sódico	40,4 b
Carfentrazona-etílica	40,8 b
CV (%)	12,13

¹ médias seguidas por letras distintas na coluna diferem pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$).

Quando avaliado o efeito da época de aplicação do N, observou-se redução de estatura para o tratamento sem nitrogênio aos 20 e 30 DAT (tab. 31). Entre tratamentos com N, em ambas as épocas de avaliação, verificou-se redução da estatura quando todo o nitrogênio foi aplicado depois da entrada da água. Dessa forma, evidencia-se que, considerando a variável estatura de plantas, a melhor época de aplicação do nitrogênio é antes da entrada da água, possivelmente devido as menores perdas por volatilização e desnitrificação.

Tabela 31 - Estatura aos 20 e 30 dias após a aplicação dos tratamentos (DAT) de plantas de arroz em função da época de aplicação de nitrogênio. FAEM/UFPel, Capão do Leão/RS, 2013/14.

Época de aplicação do nitrogênio	Estatura (cm)	
	20 DAT	30 DAT
Sem N	37,1 c ¹	42,9 d
Antes da água	45,8 a	58,7 a
Metade antes/ Metade depois	44,6 a	53,2 b
Depois da água	41,9 b	47,3 c
CV (%)	9,96	9,96

¹ médias seguidas por letras distintas na coluna diferem pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$).

Para a variável fitotoxicidade, verificou-se que todos os tratamentos herbicidas apresentaram efeito fitotóxico, comparativamente a testemunha (tab.32). Entre herbicidas, observou-se a maior fitotoxicidade quando da aplicação de bispiribaque-sódico, para todas as épocas de aplicação de nitrogênio, não diferindo de carfentrazone-etílica quando o N foi fracionado ou aplicado após a entrada da água. Quando comparadas as épocas de aplicação de N, verificou-se menor fitotoxicidade para o herbicida bentazona quando 100% do N foi aplicado antes da entrada da água ou quando foi aplicado 50% antes e 50% depois (tab.32). Para o bispiribaque-sódico, a maior fitotoxicidade foi observada quando aplicado todo nitrogênio antes da entrada da água. Já, para os demais herbicidas não houve diferença nos sintomas em função da época de aplicação de nitrogênio.

Tabela 32 – Fitotoxicidade (%) aos 10 dias após a aplicação dos tratamentos (DAT) de plantas de arroz submetidas à aplicação de herbicidas pós-emergentes e em função da época de aplicação de nitrogênio. FAEM/UFPel, Capão do Leão/RS, 2013/14.

Herbicida	Fitotoxicidade (%)											
	Época de aplicação de nitrogênio											
	Sem N			Antes da água			Metade antes/ Metade depois			Depois da água		
Testemunha	0	A ¹	c	0	A	d	0	A	d	0	A	d
Quincloraque	6,3	A	b	4,5	A	c	4,3	A	bc	4,3	A	c
Bentazona	5,0	AB	b	3,5	B	c	3,5	B	c	5,8	A	b
Bispiribaque-sódico	8,5	B	a	12,5	A	a	8,3	B	a	7,3	B	a
Carfentrazone-etílica	6,0	A	b	7,5	A	b	6,5	A	ab	7,3	A	a

¹ médias seguidas por letras minúsculas na coluna diferem os herbicidas e por letras maiúscula na linha diferem as épocas de aplicação de nitrogênio pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$).

Pode-se inferir que a aplicação do N antes da entrada da água favorece a recuperação da fitotoxicidade causada pelo herbicida bentazona, corroborando com os resultados obtidos por Pinto et al. (2001), os quais verificaram que quando o nitrogênio é aplicado oito dias antes da aplicação de herbicidas e consequentemente

da entrada da água, a fitotoxicidade é menor. No entanto, este resultado difere do encontrado por Oliveira et al. (2011), onde a maior fitotoxicidade no arroz foi observada nos tratamentos sem aplicação de N ou quando o 100% do N foi aplicado antes da inundação. Quando avaliado bispiribaque-sódico, observou-se comportamento inverso, ou seja, a aplicação do nitrogênio antes da entrada da água resultou em maior fitotoxicidade. Possível explicação para esse resultado é o fato do bispiribaque-sódico ser herbicida sistêmico, sendo que sua translocação pode ser aumentada em função da absorção do nitrogênio. No entanto não é possível afirmar que este tenha sido o mecanismo que ocasionou maiores injúrias.

Outro fato a ser considerado é a seletividade diferencial que cada herbicida possui em relação a cultura. A base para o sucesso do controle químico das plantas daninhas na produção agrícola é a seletividade dos herbicidas e pode ser definida como a medida na resposta diferencial das espécies de plantas à aplicação de determinada molécula (OLIVEIRA JR, 2001). O metabolismo diferencial de herbicidas em plantas destaca-se entre os fatores de seletividade relacionados às características direta ou indiretamente das plantas (COLE, 1994), sendo provavelmente o mais comum dos mecanismos que contribuem para a seletividade de herbicidas nas plantas. Espécies que apresentam seletividade através deste mecanismo são capazes de alterar ou degradar a estrutura química do herbicida através de reações que resultam em substâncias não tóxicas. Plantas que não possuem a habilidade de destoxificar o herbicida são mortas, enquanto as plantas tolerantes que possuem esta capacidade sobrevivem (AKOBUNDU, 1987).

Aos 20 DAT, verificou-se maior fitotoxicidade na cultura em função da aplicação de bispiribaque-sódico, seguido por quincloraque e carfentrazona-etílica (tab. 33). A menor fitotoxicidade foi observada para o herbicida bentazona, não diferindo da testemunha e mostrando-se mais seletivo ao arroz. Quando avaliado o efeito dos herbicidas aos 30 DAT, observou-se que apenas o herbicida bispiribaque-sódico resultou em fitotoxicidade a cultura (tab. 33), evidenciando recuperação das plantas que foram tratadas com os demais herbicidas. No entanto, a evolução dos sintomas de fitotoxicidade até a aparente total recuperação das plantas ainda pode resultar em reduções da produtividade final da cultura (LÓPEZ-OVEJERO, 2000).

Alguns fatores de manejo podem afetar a intensidade de fitotoxicidade, dentre eles, a época de início da irrigação por inundação, e a irrigação mais precoce possibilita menor injúria dos herbicidas e/ou recuperação mais rápida das plantas

(DORNELLES et al., 2005; FLECK et al., 2003). Outra prática de manejo que pode influenciar a fitotoxicidade é a adubação nitrogenada. O nitrogênio é um nutriente essencial para o crescimento das plantas, podendo acelerar a recuperação de plantas sob efeito tóxico do herbicida. Pesquisas realizadas comprovaram a importância da adubação nitrogenada como fator de incremento de colmos e panículas por área e produtividade do arroz (GHOBRIAL, 1983; SINGH; PILLAI, 1996; MARIOT et al., 2003).

Tabela 33 - Fitotoxicidade aos 20 e 30 dias após a aplicação dos tratamentos (DAT) de plantas de arroz submetidas à aplicação de herbicidas pós-emergentes. FAEM/UFPeI, Capão do Leão/RS, 2013/14.

Herbicida	Fitotoxicidade (%)	
	20 DAT	30 DAT
Testemunha	0 d ¹	0 b
Quincloraque	2,6 b	0,2 b
Bentazona	0,9 cd	0,2 b
Bispiribaque-sódico	6,9 a	3,8 a
Carfentrazone-etílica	1,7 bc	0,6 b
CV (%)	75,57	118,80

¹ médias seguidas por letras distintas na coluna diferem pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$).

Em todas as épocas de avaliação o maior incremento de massa seca foi verificado quando o N foi aplicado antes da entrada da água, com excessão aos 10 DAT, onde não se verificou diferença com o fracionamento do N (tab.34). As perdas ocorridas com a aplicação de ureia na água determinaram menor eficiência com esta modalidade. Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Humphreys et al. (1987); Heenan, Bacon (1989) que também encontraram maior eficiência com a aplicação da ureia antes da inundação, resultando em maior acúmulo de massa seca.

Tabela 34 - Massa seca da parte aérea aos 10, 20 e 30 dias após a aplicação dos tratamentos (DAT) de plantas de arroz em função da época de aplicação de nitrogênio. FAEM/UFPel, Capão do Leão/RS, 2013/14.

Época de aplicação do nitrogênio	Massa seca da parte aérea (g)		
	10 DAT	20 DAT	30 DAT
Sem N	2,34 b ¹	9,29 c	19,30 d
Antes da água	4,36 a	29,51 a	63,29 a
Metade antes/ Metade depois	4,01 a	22,25 b	45,45 b
Depois da água	2,34 b	16,79 b	33,70 c
CV (%)	42,72	37,16	30,56

¹ médias seguidas por letras distintas na coluna diferem pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$).

A eficiência média de utilização do N é relativamente baixa no cultivo de arroz irrigado, em torno de 40% (ZHU; CHEN, 2002; XU et al., 2012), variando de 25% a 35% para maioria dos cereais (JIN, 2012; CAI et al., 2004; JU et al., 2009) e pode variar com a espécie vegetal, práticas de manejo, propriedades do solo, condições ambientais e fonte de N utilizada (SHAVIV, 2001; PEGORARO et al., 2009; ESPINDULA, 2010). Dado este elevado consumo de fertilizantes nitrogenados com baixa eficiência, uma quantidade substancial de adubação é perdida, causando série de problemas ambientais (XING; ZHU, 2000; LE et al., 2010; XUEJUN; FUSUO, 2011). O excesso de N é perdido rapidamente por volatilização de amônia, desnitrificação, escoamento superficial e lixiviação (GALLOWAY et al., 2008; CONLEY et al., 2009; WANG et al., 2012). A partir dos resultados do acúmulo de massa seca em função da época de aplicação de nitrogênio, constata-se que quando 100% da adubação nitrogenada é aplicada antes da entrada de água as perdas são menores.

Independente da época de aplicação de nitrogênio, observou-se que sempre há ganho no acúmulo de massa seca quando comparada a testemunha sem N, sendo verificado aumento de 227% no acúmulo de massa seca quando 100% do N foi aplicado antes da entrada da água, 135% quando o N foi fracionado antes e após a entrada da água e 74% quando todo nitrogênio foi aplicado após a entrada da água. Se comparadas as épocas de aplicação, aos 30 DAT, observa-se que quando o N é aplicado antes da entrada da água o acúmulo de massa seca é 39% maior em

relação à aplicação fracionada e 87% maior que quando aplicado 100% após a entrada da água.

A época de aplicação de N também resultou em alteração do número de afilhos por planta e de grãos vazios por panícula (tab.35). O menor afilhamento foi observado nos tratamento sem N e quando todo o nitrogênio foi aplicado após a aplicação de lâmina de água, enquanto que o maior número de afilhos foi observado no tratamento com 100% do N aplicado antes da entrada da água (tab. 35). A aplicação da ureia na água aumenta o conteúdo de N amoniacal sujeito a perdas, já que o N fica a poucos centímetros de profundidade no solo. Com isso, há menor quantidade de N disponível diminuindo o número de afilhos, a absorção de N e, consequentemente a produção de matéria seca (VLEK; STUMPE; BYRNES, 1980; SIMPSON; FRENEY; WETSELAAR, 1984; HUMPHREYS et al., 1987; KATYAL; GADALLA,1990). Estes resultados coincidem com aqueles relatados por Humphreys et al. (1987) que observaram maior afilhamento quando aplicaram ureia antes da inundação.

Em relação ao número de grãos vazios, verificou-se que o nitrogênio aplicado depois da entrada da água resultou em maior esterilidade (tab.35), possivelmente devido a maior perda do N e menor aproveitamento pelas plantas, já que o N desempenha papel importante na formação dos órgãos reprodutivos e dos grãos do arroz (BARBOSA FILHO, 1987).

Tabela 35 – Número de afilhos por planta e de grãos vazios por panícula de plantas de arroz em função da época de aplicação de nitrogênio. FAEM/UFPEl, Capão do Leão/RS, 2013/14.

Época de aplicação do nitrogênio	Afilho planta ⁻¹	Grãos vazios panícula ⁻¹
Sem N	6,7 c ¹	7,9 b
Antes da água	11,7 a	8,1 b
Metade antes/ Metade depois	9,2 b	7,5 b
Depois da água	7,2 c	10,6 a
CV (%)	26,59	41,09

¹ médias seguidas por letras distintas na coluna diferem pelo teste de Duncan (p≤0,05).

A adubação nitrogenada aumenta o número de colmos e panículas por área (CAMPELLO JUNIOR, 1985) e o número de espiguetas (FORNASIERI FILHO; FORNASIERI, 1993). A resposta à adubação nitrogenada é variável podendo apresentar incremento de produtividade com doses superiores a 100 kg ha⁻¹ de N (STONE et al., 1999), ou não mostrar influência nem mesmo nos componentes da produtividade e rendimento industrial de grãos (ARF et al., 2003).

Verificou-se que a maior produtividade foi obtida quando aplicado o herbicida quincloraque não diferindo dos demais herbicidas e sendo superior a testemunha (tab. 36). Uma das possíveis explicações para a testemunha ter produzido menos pode estar relacionada à aplicação de apenas um herbicida, o cialofope-butílico, o qual possui registro para o controle de folha estreita. Dessa forma, a presença de plantas daninhas de folhas largas podem ter exercido competição com a cultura do arroz, interferindo na produtividade de grãos. Além disso, o herbicida cialofope-butílico, quando aplicado em solo seco, pode apresentar redução na eficiência de controle.

O quincloraque é herbicida hormonal pertencente ao grupo dos mimetizadores de auxinas (ROMAN, 2007) e possui registro tanto para controle de capim-arroz quando de angiquinho (*Aeschynomene* spp.) na cultura do arroz irrigado (AGROFIT, 2015), apresentando dessa forma maior espectro de ação em relação aos demais herbicidas e resultando em maior produtividade de grãos em comparação com a testemunha.

Tabela 36 - Produtividade de plantas de arroz submetidas à aplicação de herbicidas pós-emergentes. FAEM/UFPel, Capão do Leão/RS, 2013/14.

Herbicida	Produtividade (Kg ha ⁻¹)
Testemunha	7700,3 b ¹
Quincloraque	9060,7 a
Bentazona	7967,7 ab
Bispiribaque-sódico	8315,6 ab
Carfentrazone-etílica	7901,6 ab
CV (%)	20,64

¹ médias seguidas por letras distintas na coluna diferem pelo teste de Duncan (p≤0,05).

Verificou-se redução do peso de mil grãos e produtividade de grãos quando não foi utilizado nitrogênio ou quando todo nitrogênio foi aplicado depois da entrada da água (tab. 37). A aplicação de N, em solo seco ou drenado, seguida de irrigação tem proporcionado maior produtividade de grãos em trabalhos conduzidos em condições distintas de clima e de solo (HUMPHREYS et al., 1987; HEENAN; BACON, 1989; ZIA; ASLAM; GILL, 1992; MONTERO, 1993; BOLLIICH et al., 1996).

A maior produtividade nos tratamentos com aplicação de nitrogênio já era esperada, pois o N é componente da clorofila, com expressiva participação no aumento da área foliar da planta, a qual aumenta a eficiência na interceptação da radiação solar e a taxa fotossintética e, conseqüentemente, a produtividade de grãos (FAGERIA; STONE, 2003).

Tabela 37 – Peso de mil grãos (g) e produtividade (kg ha⁻¹) de plantas de arroz em função da época de aplicação de nitrogênio. FAEM/UFPEl, Capão do Leão/RS, 2013/14.

Época de aplicação do nitrogênio	Peso de mil grãos (g)	Produtividade (kg ha ⁻¹)
Sem N	24,17 b ¹	6802,8 b
Antes da água	25,43 a	9313,7 a
Metade antes/ Metade depois	25,30 a	9389,2 a
Depois da água	24,40 b	7244,7 b
CV (%)	2,84	15,38

¹ médias seguidas por letras distintas na coluna diferem pelo teste de Duncan (p≤0,05).

A produção de grãos de arroz é determinada por componentes de produção, que incluem o número de panículas por área, número grãos cheios por panícula e peso de 1000 grãos (SUI et al., 2013), sendo esse influenciados diretamente pelo suprimento de fertilizantes, principalmente N (FENG et al., 2009; KAMIJI et al., 2011; ZHANG et al., 2013). No entanto, variáveis como número de panículas e peso de grãos podem não se correlacionar com a produtividade, em razão da desuniformidade no estande, luz e espaço físico, o que dificulta sua medição e, conseqüentemente, proporciona altos coeficientes de variação (STONE; MOREIRA, 2000; OLIVEIRA; CARVALHO; MORAES, 2002). Dessa forma, dose apropriada e correta época de aplicação de nitrogênio são práticas de manejo fundamentais para garantir a produtividade da cultura do arroz irrigado.

Geralmente, a capacidade de afilhamento do arroz é influenciada por nutrientes e espaço, sendo que a adubação com N e P aumentou significativamente o afilhamento em lavouras de arroz (FAGERIA; STONE, 2003). O número de afilhos não é apenas influenciado pelo teor de N, mas também pelo índice de área foliar (ZHONG et al., 2002). Além disso, o número de espiguetas por panícula também é influenciado pela disponibilidade de N, principalmente na fase final de diferenciação (KAMIJI et al., 2011). Assim, estratégias de fornecimento de nutrientes adequadas são fundamentais para aumentar a produtividade de grãos, devido ao aumento geral no número total de espiguetas.

Ao fazer a análise de Correlação de Pearson para as variáveis avaliadas, observou-se que do total de 91 possíveis correlações, 54% foram significativas ($p \leq 0,05$); e destas 80% das correlações foram positivas e 20% negativas (tab. 38). Observou-se correlação principalmente entre estatura e as demais variáveis, sugerindo que a paralisação do crescimento em função da aplicação de herbicidas ou da época de aplicação de nitrogênio afeta os demais parâmetros. Para variável fitotoxicidade, não se verificou correlação com os componentes da produtividade, indicando que, mesmo os herbicidas ocasionando injúrias às plantas, ocorre recuperação ao longo do ciclo. Além disso, o número de afilhos por plantas apresenta correlação positiva com a produtividade e o peso de mil grãos (0,37 e 0,33 respectivamente), enquanto que o número de grãos vazios apresentou correlação negativa com tais variáveis (-0,23 e -0,30 respectivamente).

Tabela 38 – Correlação de Pearson para as variáveis estatura (EST), fitotoxicidade (FITO) e massa seca da parte aérea (MSPA) aos 10, 20 e 30 dias após a aplicação dos tratamentos, número de afilhos por planta, número de grãos vazios, número de grãos por panícula, produtividade e peso de mil grãos em plantas de arroz submetidas à aplicação de herbicidas pós-emergentes e épocas de aplicação de nitrogênio. FAEM/UFPel, Capão do Leão/RS, 2013/14.

	Est 10 DAT	Est 20 DAT	Est 30 DAT	Fito 10 DAT	Fito 20 DAT	Fito 30 DAT	MS 10 DAT	MS 20 DAT	MS 30 DAT	Afilhos planta ⁻¹	Grãos vazios	Grãos panícula ⁻¹	Produtividade	Peso de mil
Est 10 DAT	---													
Est 20 DAT	0,68 ^{*1}	---												
Est 30 DAT	0,62*	0,64*	---											
Fito 10 DAT	-0,27*	-0,17 ^{ns}	0,01 ^{ns}	---										
Fito 20 DAT	-0,24*	-0,08 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	0,70*	---									
Fito 30 DAT	-0,34*	-0,27*	-0,08 ^{ns}	0,60*	0,79*	---								
MS 10 DAT	0,55*	0,54*	0,45*	-0,19 ^{ns}	-0,14 ^{ns}	-0,16 ^{ns}	---							
MS 20 DAT	0,50*	0,60*	0,62*	-0,28*	-0,22 ^{ns}	-0,24*	0,65*	---						
MS 30 DAT	0,68*	0,65*	0,72*	-0,19 ^{ns}	-0,12 ^{ns}	-0,25*	0,62*	0,78*	---					
Afilhos planta ⁻¹	0,41*	0,48*	0,55*	0,17 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,31*	0,33*	0,49*	---				
Grãos vazios	-0,13 ^{ns}	0,09 ^{ns}	-0,05 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	0,01 ^{ns}	-0,15 ^{ns}	-0,07 ^{ns}	---			
Grãos panícula ⁻¹	-0,09 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	0,06 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,01 ^{ns}	-0,05 ^{ns}	-0,11 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,16 ^{ns}	---		
Produtividade	0,55*	0,59*	0,55*	0,02 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	0,38*	0,41*	0,52*	0,37*	-0,23*	-0,48*	---	
Peso de mil	0,50*	0,46*	0,47*	-0,12 ^{ns}	-0,12 ^{ns}	-0,17 ^{ns}	0,43*	0,47*	0,59*	0,33*	-0,30*	-0,01 ^{ns}	0,44*	---

¹ * significativo e ^{ns} não significativo a p≤0,05.

4.4 Conclusões

A aplicação de nitrogênio, em geral, resulta em maior estatura e acúmulo de massa seca nas plantas de arroz, sendo que a aplicação de nitrogênio antes da entrada da água e o parcelamento (50% antes e 50% após a entrada da água) favorecem a cultura.

O herbicida bispiribaque-sódico resulta em maior fitotoxicidade e redução da estatura das plantas de arroz, seguindo por bentazona e carfentrazone-etílica, enquanto a menor fitotoxicidade e maior produtividade de grãos é decorrente da aplicação de quincloraque.

5 CONCLUSÕES

Mesmo seletivos e registrados para controle de plantas daninhas na cultura do arroz, os herbicidas causam fitotoxicidade, reduzem a estatura e alteram o metabolismo das plantas, gerando espécies reativas de oxigênio, as quais ativam o sistema de defesa enzimático e não enzimático e resultam em degradação dos pigmentos fotossintéticos e redução no teor de proteínas.

Para os herbicidas pré-emergentes as variáveis fisiológicas devem ser realizadas em época anterior a 8 DAE enquanto que para os herbicidas pós-emergentes as avaliações devem ser realizadas em período igual ou posterior a 120 HAP.

Os herbicidas oxadiazona e bispiribaque-sódico, quando aplicados em pré e pós-emergência, respectivamente causam maior fitotoxicidade e reduzem a estatura de plantas de arroz. Já oxadiazona e pendimetalina, em pré-emergência e bispiribaque-sódico e carfentrazona-etílica, em pós-emergência, reduzem a massa seca da parte aérea das plantas de arroz.

Os herbicidas aplicados em pré-emergência proporcionam maior produtividade de grãos em comparação com a testemunha, enquanto que em pós-emergência apenas quincloraque apresenta esse efeito. Em geral, os herbicidas não alteram a qualidade fisiológica das sementes de arroz, podendo ser utilizados como método de controle de plantas daninhas.

A aplicação de nitrogênio, em geral, resulta em maior estatura e acúmulo de massa seca nas plantas de arroz, sendo que a aplicação de nitrogênio antes da entrada da água e o parcelamento (50% antes e 50% após a entrada da água) favorecem a cultura.

O herbicida bispiribaque-sódico resulta em maior fitotoxicidade e redução da estatura das plantas de arroz, seguindo por bentazona e carfentrazona-etílica,

enquanto a menor fitotoxicidade e maior produtividade de grãos é decorrente da aplicação de quincloraque.

6 REFERÊNCIAS

AGOSTINETTO, D.; FLECK, N.G.; MENEZES, V.G. Herbicidas não seletivos aplicados na fase de maturação do arroz irrigado. **Scientia Agrícola**, v. 58, p. 277-285, 2001.

AGOSTINETTO, D.; GALON, L.; MORAES, P.V.D.; TIRONI, S.P.; DAL MAGRO, T.; VIGNOLO, G.K. Interferência de capim-arroz (*Echinochloa* spp.) na cultura do arroz irrigado (*Oryza sativa*) em função da época de irrigação. **Planta Daninha**, v. 25, p. 689-696, 2007.

AGOSTINETTO, D.; VARGAS, L. (Eds.). **Resistência de plantas daninhas a herbicidas no Brasil**. Passo Fundo: Berthier, 2009. 352p.

AGROFIT. Sistema de agrotóxicos fitossanitários. Disponível em: <http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons> Acesso em 10 out. 2014.

AGROFIT. Sistema de agrotóxicos fitossanitários. Disponível em: <http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons> Acesso em 5 jan. 2015.

AGUIAR, A.; FERRAZ, A. Mecanismo e aplicações da reação de Fenton assistida por compostos fenólicos redutores de ferro. **Química Nova**, v. 30, p. 623-628, 2007.

AHSAN, N.; LEE, D.G.; LEE, K.W.; ALAM, I.; LEE, S.H.; BANK, J.D.; LEE, B.H. Glyphosate-induced oxidative stress in rice leaves revealed by proteomic approach. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 46, p. 1062-1070, 2008.

AKOBUNDU, I.O. **Weed Science in the tropics: principles and practices**. New York: John Wiley & Sons, 1987. 522 p.

ALIA, J.M.; MOHANTY, P.; MATYSIK, J. Effect of proline on the production of singlet oxygen. **Amino Acids**, v. 21, p. 195-200, 2001.

AMICI, A.; LEVINE, R.L.; STADTMAN, E.R. Conversion of amino acids residues in proteins and amino acids homopolymers to carbonyl derivatives by metal-catalyzed reactions. **The Journal of Biological Chemistry**, v. 264, p. 3341-3346, 1989.

AMR, I. E.; SHAHSAVAR, A. Response of lime seedlings (*Citrus aurantifolia* L.) to exogenous spermidine treatments under drought stress. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 4, p. 4483–4489, 2010.

ANDRES, A.; CONCENÇO, G.; MELO, P.T.B.S.; SCHMIDT, M.; RESENDE, R.G. Detecção da resistência de capim-arroz (*Echinochloa* sp.) ao herbicida quinclorac em regiões orizícolas do sul do Brasil. **Planta Daninha**, v. 25, p. 221-226, 2007.

ANDRES, A.; MACHADO, S. L. O. Plantas daninhas em arroz irrigado. In: GOMES, A. S.; MAGALHÃES Jr., A. M. (Eds.). **Arroz irrigado no sul do Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 457-546.

ARF, O.; RODRIGUES, R.A.F.; CRUSCIOL, C.A.C.; SÁ, M.E. de; BUZETTI, S. Soil management and nitrogen fertilization for sprinkler-irrigated upland rice cultivars. **Scientia Agricola**, v. 60, p. 345-352, 2003.

ARNON, D.I. Copper enzymes in isolated chloroplasts, polyphenoxidase in beta vulgaris. **Plant physiology**, v. 24, p. 1-15, 1949.

ASHFAQUE, F.; KHAN, M.I.R.; KHAN, N.A. Exogenously applied H₂O₂ promotes proline accumulation, water relations, photosynthetic efficiency and growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salt stress. **Annual Research and Review in Biology**, v. 4, p. 105–120, 2014.

AWAN, T.H.; ALI, M.A.I.; ANWAR, M.; MAZoor, Z. Contribution of tillers within a rice plant to yield and yield components. **Journal of Agricultural Research**, v. 45, p. 237-243, 2007.

AZEVEDO, R.A.; ALAS, R.M.; SMITH, R.J.; LEA, P.J. Response of antioxidant enzymes to transfer from elevated carbon dioxide to air and ozone fumigation, in the leaves and roots of wild-type and a catalase-deficient mutant of barley. **Physiologia Plantarum**, v. 104, p. 280-292, 1998.

BARBOSA FILHO, M.P. **Nutrição e adubação do arroz: sequeiro e irrigado**. Piracicaba: Potafós, 1987. 129p.

BARBOSA FILHO, M.P.; FAGERIA, N.K. Fertilização do solo. In: SANTOS, A.B. dos (Ed.). **Árvore do conhecimento: arroz**. Brasília, DF, Embrapa, 2013. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/arroz/arvore.html>>. Acesso em: 21 mar. 2013.

BARELA, J.F.; CHRISTOFFOLETI, P.J. Seletividade de herbicidas aplicados em pré-emergência da cultura da cana-de-açúcar (RB867515) tratada com nematicidas. **Planta Daninha**, v. 24, p. 371-378, 2006.

BARROSO, A.A.M.; YAMAUTI, M.S.; ALVES, P.L.C.A. Interferência entre espécies de planta daninha e duas cultivares de feijoeiro em duas épocas de semeadura. **Bragantia**, v. 69, p. 609-616, 2010.

BARTOSZ, G. Oxidative stress in plants. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 19, p. 47-64, 1997.

BATES, L.S.; WALDREN, R.P.; TEARE, I.D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and Soil**, v. 39, p. 205-207, 1973.

BAYNES, J.W.; THORPE, S.R. Role of oxidative stress in diabetic complications: a new perspective on an old paradigm. **Diabetes**, v. 48, p. 1-9, 1999.

BELLÉ, C.; KULCZYNSKI, S.M.; BASSO, C.J.; KASPARY, T.E.; LAMEGO, F.P.; PINTO, M.A.B. Yield and quality of wheat seeds as a function of desiccation stages and herbicides. **Journal of Seed Science**, v. 36, p. 63-70, 2014.

BENNETT, A. C.; SHAW, D. R. Effect of *Glycine max* cultivar and weed control on weed seed characteristics. **Weed Science**, v. 48, p. 431-435, 2000.

BHATT, I.; TRIPATHI, B.N. Plant peroxiredoxins: catalytic mechanisms, functional significance and future perspectives. **Biotechnology Advances**, v. 29, p. 850-859, 2011.

BHATTACHARJEE, S. Sites of generation and physicochemical basis of formation of reactive oxygen species in plant cell. In: GUPTA, S.D. **Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants**. Enfield: Science Publishers, 2010. p.1-30.

BHATTACHARYYA, P.; ROY, K.S.; NEOGI, S.; ADHYA, T.K.; RAO, K.S.; MANNA, M.C. Effects of rice straw and nitrogen fertilization on greenhouse gas emissions and carbon storage in tropical flooded soil planted with rice. **Soil and Tillage Research**, v. 124, p. 119–130, 2012.

BIRUEL, R.P.; AGUIAR, I.B.; PAULA, R.C. Germinação de sementes de pau-ferro submetidas a diferentes condições de armazenamento, escarificação química, temperatura e luz. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 29, p. 151-159, 2007.

BLOKHINA, O.; VIROLAINEN, E.; FAGERSTEDT, K. V. Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: a review. **Annals of Botany**, v. 91, p. 179-194, 2003.

BOLLIICH, P.K.; JORDAN, D.L.; REGAN, R.T.; WALKER, D.M. **Water-seeded no-till nitrogen management**. Louisiana: Annual Report. p.253-254

BOLLIICH, P.K.; JORDAN, D.L.; WALKER, D.M.; BURNS, A.B. Rice (*Oryza sativa*) response to the microencapsulated formulation of clomazone. **Weed Technology**, v. 14, p. 89-93, 2000.

BOLWELL, G.P.; BOZAK, K.; ZIMMRELIN, A. Plant cytochrome P450. **Phytochemistry**, v.37, p.1491-1506, 1994.

BOND, J. A.; WALKER, T W.; WEBSTER, E.P.; BUEHRING, N.W.; HARRELL, D.L. Rice cultivar response to penoxsulam. **Weed Technology**, v. 21, p. 961–965, 2007.

BONNECARRÈRE, V.; BORSANU, O.; DIAZ, P.; CAPDEVIELLE, F.; BLANCO, P.; MONZA, J. Response to photooxidative stress induced by cold in japonica rice is genotype dependent. **Plant Science**, v. 180, p. 726-732, 2011.

BORJA REIS, A.F.; COLODEL, S.; CARVALHO, R.J.; MAGI, E.A.; LOPES, P.H.; CHAGAS JUNIOR, A.F. Efeitos do atraso da aplicação de oxyfluerfen na cultura do arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 28, 2012, Campo Grande. **Anais do...** Campo Grande: SBCPD, 2012, p. 217-222.

BOWLER, C.; MONTAGU, M.V.; INZE, D. Superoxide dismutase and Stress tolerance. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 43, p. 83-11, 1992.

BRADFORD, M.M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v. 7, p. 248-254, 1976.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 395p.

BRAVERMAN, M.P.; JORDAN, D.L. Efficacy of KIH-2023 in dry- and water-seeded rice (*Oryza sativa*). **Weed Technology**, v. 10, p. 876–882, 1996.

BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C.M. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. **Revista Ciência Rural**, v.30, p.365-372, 2000.

BRIGHT, J.; DESIKAN, R.; HANCOCK, J.T.; WEIR, I.S.; NEILL, S.J. ABA-induced NO generation and stomatal closure in *Arabidopsis* are dependent on H₂O₂ synthesis. **The Plant Journal**, v. 45, p. 113-122, 2006.

BÜLOW, R.L.; CRUZ-SILVA, C.T.A. Dessecantes aplicados na pré-colheita na qualidade fisiológica de sementes de soja. **Journal of Agronomic Sciences**, v. 1, p. 67-75, 2012.

BUZETTI, S.; BAZANINI, G.C.; FREITAS, J.G.; ANDREOTTI, M.; ARF, O.; SÁ, M.E.; MEIRA, F.A. Resposta de cultivares de arroz a doses de nitrogênio e do regulador de crescimento cloreto de clomequat. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 4, p. 1731-1737, 2006.

CAI, G.X.; CHEN, D.L.; DING, H.; PACHOLSKI, A.; FAN, X.H.; ZHU, Z.L. Nitrogen losses from fertilizers applied to maize, wheat and rice in the North China Plain. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 63, p. 187–195, 2004.

CAMARGO, E.R.; MARCHESAN, E.; ROSSATO, T.L.; GROHS, M.; SARTORI, G.M.S.; FERREIRA, R.B. Efeito da aplicação de nitrogênio e fungicida no estágio de embotramento do arroz na duração e taxa de acúmulo de massa seca dos grãos. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.17, p. 420-427, 2011.

CAMPELO JÚNIOR, J.H. **Avaliação da capacidade de extração da água do solo pelo arroz de sequeiro (*Oryza sativa* L.) sob diferentes doses de nitrogênio**. 1985. 127p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

CAMPESTRINI, R.; PRATES, R.G.; SOUSA, S.A.; OLIVEIRA, T.C.; SILVA, J.; FIDELIS, R.R. Eficiência de genótipos de arroz no uso de nitrogênio em solos de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v. 19, p. 25-32, 2014.

CARLIN, S.D.; dos SANTOS, D.M.M. Indicadores fisiológicos da interação entre deficit hídrico e acidez do solo em cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p. 1106-1113, 2009.

CARVALHO M.H.C. Drought stress and reactive oxygen species: production, scavenging and signaling. **Plant Signaling and Behavior**, v. 3, p. 156-165, 2008.

CARVALHO, S.J.P.; NICOLAI, M.; FERREIRA, R.R.; FIGUEIRA, A.V.O.; CHRISTOFFOLETI, P.J. Herbicide selectivity by differential metabolism: considerations for reducing crop damages. **Scientia Agrícola**, v. 66, p. 136-142, 2009.

CATANEO, A.C.; CHAMMA, K.L.; FERREIRA, L.C.; DÉSTRO, G.F.G.; SOUSA, D.C.F. Atividade de superóxido dismutase em plantas de soja (*Glycine max* L.) cultivadas sob estresse oxidativo causado por herbicida. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 4, p. 23-31, 2010.

CAVATTE, P.C.; MARTINS, S.C.V.; MORAIS, L.E.; SILVA, P.E.M.; DAMATTA, F.M. The physiology of abiotic stresses plant breeding for abiotic stress tolerance In: FRITSCHÉ-NETO, R.; BORÉM, A. (Eds.). **Plant breeding for abiotic stress tolerance**. 102ed. Springer, 2012. p 21-51.

CAVERO, J.; ZARAGOZA, C.; CIRUJEDA, A.; ANZALONE, A.; FACI, J. M.; BLANCO, O. Selectivity and weed control efficacy of some herbicides applied to sprinkler irrigated rice (*Oryza sativa* L.). **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 9, p. 597-605, 2011.

CELLA, V.; SILVA, J.F.; AZEVEDO, P.H.; AZEVEDO, V.H.; HOFFMAN, L.L. Efeito da dessecação em estádios fenológicos antecipados na cultura da soja. **Bioscience Journal**, v. 30, p. 1364-1370, 2014.

CHAOUI, A.; MAZHOUDI, S.; GHORBAL, M.H.; FERJANI, E.L. Cadmium and zinc induction of lipid peroxidation and effects on antioxidants enzyme activities in bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Plant Science**, v. 127, p. 139-147, 1997.

CHAUDIÈRE, J.; FERRARI-ILIOU, R. Intracellular antioxidants: from chemical to biochemical mechanisms. **Food and Chemical Toxicology**, v. 37, p. 949-962, 1999.

CHAUHAN, B.S.; JOHNSON, D.E. Growth response of direct-seeded rice to oxadiazon and bispyribac-sodium in aerobic and saturated soils. **Weed Science**, v. 59 p. 119-122, 2011.

CHAVES, M.M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, v. 3, p. 551-560, 2009.

CHEN, C.; DICKMAN, M.B. Proline suppresses apoptosis in the fungal pathogen *Colletotrichum trifolii*. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA**, v. 102, p. 3459-3464, 2005.

CHEN, C.T.; CHEN, L.M.; LIN, C.C.; KAO, C.H. Regulation of proline accumulation in detached rice leaves exposed to excess copper. **Plant Science**, v. 160, p. 283-290, 2001.

CHEN, Q.G. Research on the effect of input on yield and economic benefits of super rice-based on the investigation of the 568 households which belonged to ten counties in two southward province and one northward province. **Chinese Journal of Agrometeorology**, v. 30, p. 295–300, 2009.

CHRISTOFFOLETI, P. J. **Aspectos de resistência de plantas daninhas a herbicidas**. 3.ed. Piracicaba: Associação Brasileira de Ação à Resistência de Plantas aos Herbicidas (HRAC-BR), 2004. 100p.

CIA, M.C.; GUIMARÃES, A.C.R.; MEDICI, L.O.; CHABREGAS, S.M.; AZEVEDO, R.A. Antioxidant responses to water deficit by drought-tolerant and –sensitive sugarcane varieties. **Annals of Applied Biology**, v. 161, p. 313-324, 2012.

CIUBERKIS, S.; BERNOTAS, S.; RAUDONIUS, S.; FELIX, J. Effect of weed emergence time and intervals of weed and crop competition on potato yield. **Weed Technology**, v. 21, p. 213-218, 2007.

CLAUS, J. S. Chlorimuron-ethyl (classic): a new broadleaf postemergence herbicide in soybean. **Weed Technology**, v. 1, p. 114-115, 1987.

COLE, D.J. Detoxification and activation of agrochemicals in plants. **Pesticide Science**, v. 42, p. 209-222, 1994.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Acompanhamento da safra brasileira – Grãos. Safra 2013/2014. Acessado em: 7 jan. 2015. Online. Disponível em:
http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_12_10_08_51_33_boletim_graos_dezembro_2014.pdf

CONCENÇO, G.; FERREIRA, E.A.; SILVA, A.A.; FERREIRA, F.A.; VIANA, R.G.; D'ANTONIO, L.; VARGAS, L.; FIALHO, C.M.T. Uso da água em biótipos de azevém (*Lolium multiflorum*) em condição de competição. **Planta Daninha**, v. 25, p. 449-455, 2007.

CONCENÇO, G.; LOPES, N.F.; ANDRES, A.; MORAES, D.M.; SANTOS, M.Q.; RIEFFEL FILHO, J.A.; VILELLA, J. Controle de plantas daninhas em arroz irrigado em função de doses de herbicidas pré-emergentes e início da irrigação. **Planta Daninha**, v. 24, p. 303-309, 2006.

CONLEY, D.J.; PAERL, H.W.; HOWARTH, R.W.; BOESCH, D.F.; SEITZINGER, S.P.; HAVENS, K.E.; LANCELOT, C.; LIKENS, G.E. Controlling eutrophication: nitrogen and phosphorus. **Science**, v. 323, p. 1014–1015, 2009.

COOLEY, W.E.; FOY, C.L. Effects of SC-0224 and glyphosate on free amino acids, soluble protein, and protein synthesis in inflated duckweed (*Lemna gibba*). **Weed Science**, v. 40, p. 345-350, 1992.

CORNIANI, N.; FUMIS, T.F.; REMAERH, L.M.R.; CATANEO, A.C. Determinação das trocas gasosas e de potencial hídrico através do uso de sistemas portáteis na avaliação do estresse. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 14., 2006, Piracicaba. **Anais...** São Paulo: USP, 2006. CD-ROM.

CORNIC, G. Drought stress inhibits photosynthesis by decreasing stomatal aperture—not by affecting ATP synthesis. **Trends in Plant Science**, v. 5, p. 187–188, 2000.

COSTA, G.; MOREL, J.L. Water relations, gas exchange and aminoacid content in Cd-treated lettuce. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 32, p. 561-570, 1994.

COUNCE, P.A.; KEISLING, T.C.; MITCHELL, A.J. A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. **Crop Science**, v. 40, p. 436-443, 2000.

DALTRO, E.M.F.; ALBUQUERQUE, M.C.F.; FRANÇA NETO, J.B.; GUIMARÃES, S.C.; GAZZIERO, D.L.P.; HENNING, A.A. Aplicação de dessecantes em pré-colheita: efeito na qualidade fisiológica de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, p. 111-122, 2010.

DAMANIK, R.I.; ISMAIL, M.R.; SHAMSUDDIN, Z.; OTHMAN, S.; ZAIN, A.M.; MAZIAH, M. Response of antioxidant systems in oxygen deprived suspension cultures of rice (*Oryza sativa* L.). **Plant Growth Regulation**, v. 67, p. 83-92, 2012.

DEL LONGO, O.T.; GONZÁLEZ, C.A.; PATORI, G.M.; TRIPPI, V.S. Antioxidant defenses under hyperoxygenic and hyperosmotic conditions in leaves of two lines of maize with differential sensitivity to drought. **Plant and Cell Physiology**, v. 34, p. 1023-1028, 1993.

DEVINE, M.; DUKE, S.O.; FEDTKE, C. **Physiology of herbicide action**. New Jersey: PTR Prentice Hall, 1993. 441p.

DEVINE, M.D. Phloem translocation of herbicides. **Weed Science**, v. 4, p. 191–225, 1989.

DIARRA, A.; SMITH JR., R.J.; TALBERT, R.E. Growth and morphological characteristics of red rice (*Oryza sativa*) biotypes. **Weed Science**, v. 33, p. 310-314, 1985.

DINAKAR, C.; DJILIANOV, D.; BARTELS, D. Photosynthesis in desiccation tolerant plants: energy metabolism and antioxidative stress defense. **Plant Science**, v. 182, p. 29-41, 2012.

DONAHUE, J.L.; OKPODU, C.M.; CRAMER, C.L.; GRABAU, E.A.; ALSCHER, R.G. Response of antioxidants to paraquat in pea leaves. **Plant Physiology**, v. 113, p. 249-257, 1997.

DORNELLES, S.H.B.; CERVI, A.B.; DEBORTOLI, M.P.; BORTOLOTTI, R.P. Época de entrada de água: Influência na eficiência e seletividade do herbicida ONLY®. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 4.; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 26., 2005, Santa Maria, RS. **Anais...** Santa Maria: SOSBAI, 2005. V.1, p.235-237.

DRÖGE, W. Free radicals in the physiological control of cell function. **Physiological Reviews**, v. 82, p. 47-95, 2002.

DUAN, Y.H.; YIN, X.M.; ZHANG, Y.L.; SHEN, Q.R. Mechanisms of enhanced rice growth and nitrogen uptake by nitrate. **Pedosphere**, v. 17, p. 697–705, 2007.

DUBEY, R.S. Metal toxicity, oxidative stress and antioxidative defense system in plants. In: GUPTA, S.D. **Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants**. Enfield: Science Publishers, 2011. p. 178-203.

DUKE, S. O.; KENYON, W. H. Photosynthesis is not involved in the mechanism of action of acifluorfen in cucumber (*Cucumis sativus* L.). **Plant Physiology**, v. 81, p. 882-888, 1986.

EDWARDS, R.; BRAZIER-HICKS, M.; DIXON, D.P.; CUMMINS, I. Chemical manipulation of antioxidant defenses in plants. **Advances in Botanical Research**, v. 42, p. 1-32, 2005.

EDWARDS, R.; DIXON, D. P.; WALBOT, V. Plant glutathione S-transferases: enzymes with multiple functions sickness and in health. **Trends in Plant Science**, v. 5, p. 193-198, 2000.

EERD, L.L.; HOAGLAND, R.E.; ZABLOTOWICZ, R.M.; HALL, J.C. Pesticide metabolism in plants and microorganisms. **Weed Science**, v. 51, p. 472-495, 2003.

EKMEKCI, Y.; TERZIOGLU, S. Effects of oxidative stress induced by paraquat on wild and cultivated wheats. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 83, p. 69-81, 2005.

ELLA, E.S.; KAWANO, N.; ITO, O. Importance of active oxygen-scavenging system in the recovery of rice seedlings after submergence. **Plant Science**, v. 165, p. 85-93, 2003.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília, 2013. 353p.

ESFANDIARI, E.; SHOKRPOUR, M.; ALAVI-KIA, S. Effect of mg deficiency on antioxidant enzymes activities and lipid peroxidation. **Journal of Agricultural Science**, v. 2, p. 131-136, 2010.

ESPINDULA, M.C.; ROCHA, V.S.; SOUZA, M.A.de; GROSSI, J.A.S.; SOUZA, L.T. Doses e formas de aplicação de nitrogênio no desenvolvimento e produção da cultura do trigo. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, p. 1404-1411, 2010.

FAGERIA, N.K. Yield physiology of rice. **Journal of Plant Nutrition**, v. 30, p. 843–879, 2007.

FAGERIA, N.K.; BARBOSA FILHO, M.P. Nitrogen use efficiency in lowland rice genotypes. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 32, p. 2079-2089, 2001.

FAGERIA, N.K.; SANTOS, A.B. COELHO, A.M. Growth, yield and yield components of lowland rice as influenced by ammonium sulfate and urea fertilization. **Journal of Plant Nutrition**, v. 34, p. 371-386, 2011.

FAGERIA, N.K.; SLATON, N.A.; BALIGAR, V.C. Nutrient management for improving lowland rice productivity and sustainability. **Advances in Agronomy**, v. 80, p. 63-152, 2003.

FAGERIA, N.K.; STONE, L.F. Manejo do nitrogênio. In: FAGERIA, N. K.; STONE, L. F.; SANTOS, A. B. dos. **Manejo da fertilidade do solo para o arroz irrigado**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p. 51-94.

FAHEED, F. Comparative effects of four herbicides on physiological aspects in *Triticum sativum* L.. **African Journal of Ecology**, v. 50, p. 29-42, 2012.

FARINELLI, R.; PENARIOL, F.G.; FORNASIERI FILHO, D.; BORDIN, L. Características agronômicas de arroz de terras altas sob plantio direto e adubação nitrogenada e potássica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 447-454, 2004.

FENG, L.L.; LI, H.; JIAO, J.M.; LI, D.; ZHOU, L.; WAN, J.; LI, Y.S. Reduction in SBPase activity by antisense RNA in transgenic rice plants: effect on photosynthesis, growth, and biomass allocation at different nitrogen levels. **Journal of Plant Biology**, v. 52, p. 382–394, 2009.

FERHATOGLU, Y.; BARRET, M. Studies of clomazone mode of action. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 85, p. 7-14, 2006.

FERREIRA, E.A.; SANTOS, J.B.; SILVA, A.A.; VENTRELLA, M.C.; BARBOSA, M.H.P.; PROCÓPIO, S.O.; REBELLO, V.P.A. Sensibilidade de cultivares de cana-de-açúcar à mistura trifloxysulfuron- sodium+ametryn. **Planta Daninha**, v. 23, p. 93-99, 2005.

FERREIRA, F.B.; PINTO, J.J.O.; SCHMIDT, M.; LAMEGO, F.P.; LAZAROTO, C. A.; REZENDE, A. L.; GALON, L. Influência da aplicação de nitrogênio no comportamento de herbicidas graminicidas de aplicação em pós-emergência na cultura do arroz irrigado. XXIII CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 23, 2002, Gramado. **Anais do....** Gramado: SBPCPD, 2002. p. 393.

FERREIRA, L.C.; CATANEO, A.C.; REMAER, L.M.R.; CORNIANI, N.; FUMIS, T.F.; SOUZA, Y.A.; SCAVRONI, J.; SOARES, B.J.A. Nitric oxide reduces oxidative stress generated by lactofen in soybean plants. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 97, p. 47-54, 2010.

FIRBANK, L.G.; WATKINSON, A.R. On the analysis of competition within two-species mixtures of plants. **Journal of Applied Ecology**, v. 22, p. 503-517, 1985.

FISCHER, R.A.; MILES, R.E. The role of spatial pattern in the competition between crop plants and weeds. A theoretical analysis. **Mathematical Biosciences**, v. 18, p. 335-350, 1973.

FLECK, N.G.; MENEZES, V.G.; RAMIREZ, H.; LAMEGO, F.P.; BIANCHI, M.A.; LEITES, A.; ULBRICH, A. Controle químico seletivo de angiquinho e arroz-vermelho em arroz irrigado utilizando o sistema Clearfield®. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 3.; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 25., 2003, Balneário Camboriú - SC. **Anais...** Itajaí: EPAGRI, 2003. p.465-467.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Production and trade statistics. Acessado em: 7 jan. 2015. Online. Disponível em: <http://www.fao.org/economic/ess/ess-trade/en/>

FOREMAN, J.; DEMIDCHIK, V.; BOTHWELL, J.H.; MYLONA, P.; MIEDEMA, H.; TORRES, M.A.; LINSTEAD, P.; COSTA, S.; BROWNLEE, C.; JONES, J.D.; DAVIES, J.M.; DOLAN, J. Reactive oxygen species produced by NADPH oxidase regulate plant cell growth. **Nature**, v. 422, p. 442-446, 2003.

FORNASIERI FILHO, D.; FORNASIERI, J.L. **Manual da cultura do arroz**. Jaboticabal: Funep, 1993. 221p.

FOYER, C.H.; BLOOM, A.J.; QUEVAL, G.; NOCTOR, G. Photorespiratory metabolism: genes, mutants, energetics, and redox signaling. **Annual Review of Plant Biology**, v. 60, p. 455-84, 2009.

FOYER, C.H.; NOCTOR, G. Oxygen processing in photosynthesis: regulation and signalling. **New Phytologist**, v. 146, p. 359–388, 2000.

FOYER, C.H.; NOCTOR, G. Redox regulation in photosynthetic organisms: signaling, acclimation and practical implications. **Signal Antioxidants and Redox Signaling**, v. 11, p. 861-905, 2009.

FOYER, C.H.; SHIGEOKA, S. Understanding oxidative stress and antioxidant functions to enhance photosynthesis. **Plant Physiology**, v. 155, p. 93-100, 2011.

FRANCO, M.H.R.; NERY, M.C.; FRANÇA, A.C.; OLIVEIRA, M.C.; FRANCO, G.N.; LEMOS, V.T. Produção e qualidade fisiológica de semente de feijão após aplicação do herbicida Diquat. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, p. 1707-1713, 2013.

FRANS, R.; TALBERT, R.; MARX, D.; CROWLEY, H. Experimental design and techniques for measuring and analyzing plant responses to weed control practices. In: CAMPER, N.D. (Ed.) **Research Methods in Weed Science**. 3 ed. Champaign: Southern Weed Science Society, 1986. 37p.

FUFEZAN, C.; RUTHERFORD, A.W.; KRIEGER-LISZKAY, A. Singlet oxygen production in herbicide-treated photosystem II. **FEBS Letters**, v. 532, p. 407-410, 2002.

GADJEV, I.; STONE, J.M.; GECHEV, T.S. Programmed cell death in plants: new insights into redox regulation and the role of hydrogen peroxide. **International Review of Cell and Molecular Biology**, v. 270, p. 87-144, 2008.

GALLOWAY, J.N.; TOWNSEND, A.R.; ERISMAN, J.W.; BEKUNDA, M.; CAI, Z.C.; FRENEY, J.R.; MARTINELLI, L.A.; SEITZINGER, S.P.; SUTTON, M.A. Transformation of the nitrogen cycle: recent trends, questions, and potential solutions. **Science**, v. 320, p. 889–892, 2008.

GAN, S. **Senescence Processes in Plants**. Iowa; Blackwell Publishing Ltda, 2007. 332p.

GASPAR, T. Integrated relationships of biochemical and physiological peroxidase activities. In: GREPPIN, H.; PENEL, C.; GASPAR, T. (Ed.) **Molecular and physiological aspects of plant peroxidases**. Geneve: University of Geneve, 1986. p.455-468.

GEOFFROY, L.; TEISSEIRE, H.; COUDERCHET, M.; VERNET, G. Effect of oxyfluorfen and diuron alone and in mixture on antioxidative enzymes of *Scenedesmus obliquus*. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 72, p. 178-185, 2002.

GHOSH, B.C.; BHAT, R. Environmental hazards of nitrogen loading in wet land rice fields. **Environmental Pollution**, v. 102, p. 123–126, 1998.

GIANNOPOLITIS, C.N.; RIES, S.K. Superoxide dismutases: Occurrence in higher plants. **Plant Physiology**, v. 59, p. 309-314, 1977.

GIBERTI, S.; FUNCK, D.; FORLANI, G. D1-pyrroline-5-carboxylate reductase from *Arabidopsis thaliana*: stimulation or inhibition by chloride ions and feedback regulation by proline depend on whether NADPH or NADH acts as co-substrate. **New Phytologist**, v. 202, p. 911-919, 2014.

GILL, S.S.; TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 48, p. 909-930, 2010.

GHOBRIAL, G.L. Response of irrigated dry seeded rice to nitrogen level, interior spacing, and seeding rate in a semiarid environment. **International Rice Research Newseleter**, v. 8, p. 27-28, 1983.

GONÇALVES, E. R. **Fotossíntese, osmorregulação e crescimento inicial de quarto variedades de cana-de-açúcar submetida à deficiência hídrica**. 2008. 66 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Produção Vegetal)-Universidade Federal do Alagoas, Rio Largo.

GONÇALVES, J.F.C.; MELO, E.G.F.; FERREIRA, M.J.; SILVA, C.E.M.; GOMES, I.B. Crescimento, partição de biomassa e fotossíntese em plantas jovens de Genipa

spruceana submetidas ao alagamento. **Cerne**, v. 19, p. 193-200, 2013.

GONÇALVES, K.S. **Seletividade de herbicidas aplicados em pré e pós-emergência para cultura do pinhão manso (*Jathropa curcas* L.)** 2009. 88f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Fitotecnia), Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista.

GRATÃO, P.L.; POLLE, A.; LEA, P.J.; AZEVEDO, R.A. Making the life of heavy metal stressed plants a little easier. **Functional Plant Biology**, v. 32, p. 481-494, 2005.

GRESSEL, J.; SEGEL, L. A. Modeling the effectiveness of herbicide rotations and mixtures as strategies to delay or preclude resistance. **Weed Technology**, v. 4, p. 186-198, 1990.

GULLNER, G.; DODGE, A. D. Effect of singlet oxygen generating substances on the ascorbic acid and glutathione content in pea leaves. **Plant Science**, v. 154, p. 127-133, 2000.

GUO, J.H.; LIU, X.J.; ZHANG, Y.; SHEN, J.L.; HAN, W.X.; ZHANG, W.F.; CHRISTIE, P.; GOULDING, K.W.T.; VITOUSEK, P.M.; ZHANG, F.S. Significant acidification in major Chinese croplands. **Science**, v. 327, p. 1008–1010, 2010.

HALLING, B. P.; PETERS, G. R. Influence of chloroplast development on the activation of the diphenyl ether herbicide acifluorfen-methyl. **Plant Physiology**, v. 84, p. 1114-1120, 1987.

HALLIWELL, B. Phagocyte-derived reactive species: salvation or suicide? **Trends in Biochemical Sciences**, v. 31, p. 509–515, 2006.

HATZIOS, K.K. Biotransformations of herbicides in higher plants. In: GROVER, R.; CESSNA, A.J. (Ed.) **Environmental chemistry of herbicides**. Boca Raton: CRC Press, 1991. p.141- 185.

HATZIOS, K.K.; BURGOS, N. Metabolism-based herbicide resistance: regulation by safeners. **Weed Science**, v. 52, p. 454- 467, 2004.

HAVAUX, M.; NIYOGI, K.K. The violaxanthin cycle protects plants from photooxidative damage by more than one mechanism. **Proceedings of the National Academy of Science USA**, v. 96, p. 8762–8767, 1999.

HEATH, R.L.; PACKER, L. Photoperoxidation in isolated chloroplasts. I. kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v. 125, p. 189-198, 1968.

HEENAN, D.P.; BACON, P.E. Effects of timing and placement of urea on aerial-sown semi-dwarf rice in South-east Australia. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 40, p. 509-516, 1989.

HELDT, H. **Plant biochemistry and molecular biology**. New York: Oxford University Press, 1997. 522 p.

HELDT, H.W.; HELDT, F. Phenylpropanoids comprise a multitude of plant secondary metabolites and cell wall components. In: HELDT, H.W. **Plant biochemistry**. San Diego: Academic, 2005. p.435-454.

HEMAPRABHA, G.; SWAPNA, S.; LAVANYA, D.L.; SAJITHA, B.; VENKATARAMANA, S. Evaluation of drought tolerance potential of elite genotypes and progenies of sugarcane (*Saccharum* sp. hybrids). **Sugar Technology**, v. 15, p. 9-16, 2013.

HESS, F. D. Light-dependent herbicides: an overview. **Weed Science**, v. 48, p. 160-170, 2000.

HÖFS, A.; SCHUCH, L.O.B.; PESKE, S.T.; BARROS, A.C.S.A. Emergência e crescimento de plântulas de arroz em resposta à qualidade fisiológica de sementes. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 26, p. 92-97, 2004.

HONG, Z.; LAKKINENI, K.; ZHANG, Z.; VERMA, D.P.S. Removal of feedback inhibition of D1-pyrroline-5-carboxylate synthetase results in increased proline accumulation and protection of plants from osmotic stress. **Plant Physiology**, v. 122, p. 1129-1136, 2000.

HOQUE, M.A.O.E.; BANU, M.N.A.; NAKAMURA, Y.; SHIMOISHI, Y.; MURATA, Y. Exogenous proline mitigates the detrimental effects of salt stress more than the betaine by increasing antioxidant enzyme activities. **Journal of Plant Physiology**, v. 164, p. 553 – 561, 2007.

HORAK, M. J.; LOUGHIN, T. M. Growth analysis of four *Amaranthus* species. **Weed Science**, v. 48, p. 347-355, 2000.

HUBER, W.; KREUTMAIER, F., SANKHLA, N. Eco-physiological studies on Indian arid zone plants: VI. Effect of NaCl and ABA on amino-acid and protein metabolism in leaves of *Phaseolus aconitifolius*. **Zeitschrift für Pflanzenzüchtung**, v. 81, p. 234-247, 1977.

HUMPHREYS, E.; MUIRHEAD, W.A.; MELHUISE, F.M.; WHITE, R.J.G. Effects of time of urea application on combine-sown Calrose rice in South-east Australia. I. Crop response and N uptake. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 38, p. 101-112, 1987.

JACOBS, J. M.; JACOBS, N. J. Porphyrin accumulation and export by isolated barley (*Hordeum vulgare*) plastids. **Plant Physiology**, v. 101, p. 1181-1187, 1993.

JACOBS, J. M.; JACOBS, N. J.; SHERMAN, T. D.; DUKE, S. O. Effects of diphenyl ether herbicides on oxidation of protoporphyrinogen to protoporphyrin in organellar and plasma membrane enriched fractions of barley. **Plant Physiology**, v. 97, p. 197-203, 1991.

JIANG, L.; YANG, H. Prometryne-induced oxidative stress and impact on antioxidant enzymes in wheat. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 72, p. 1687–1693, 2009.

JIN, J. Changes in the efficiency of fertiliser use in China. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 92, p. 1006–1009, 2012.

JU, X.T.; LIU, X.J.; ZHANG, F.S.; ROELCKE, M. Nitrogen fertilization, soil nitrate accumulation, and policy recommendations in several agricultural regions of China. **AMBIO: A Journal of the Human Environment**, v. 33, p. 300–305, 2004.

JU, X.T.; XING, G.X.; CHEN, X.P.; ZHANG, S.L.; ZHANG, L.J.; LIU, X.J.; CUI, Z.L.; YIN, B.; CHRISTIE, P.; ZHU, Z.L.; ZHANG, F.S. Reducing environmental risk by improving N management in intensive Chinese agricultural systems. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 106, p. 3041–3046, 2009.

JUNG, H. I.; KUK, Y.I.; BACK, K.; BURGOS, N.R. Resistance pattern and antioxidant enzyme profiles of protoporphyrinogen oxidase (PROTOX) inhibitor-resistant transgenic rice. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 91, p. 53-65, 2008.

JUNG, S.; KUK, Y.I. The expression level of a specific catalase isozyme of maize mutants alters catalase and superoxide dismutase during norflurazon-induced oxidative stress oxidative stress in *Scutella*. **Journal of Pesticide Science**, v. 28, p. 287-292, 2003.

KAMIJI, Y.; YOSHIDA, H.; PALTA, J.A.; SAKURATANI, T.; SHIRAIWA, T. N applications that increase plant N during panicle development are highly effective in increasing spikelet number in rice. **Field Crops Research**, v. 122, p. 242–247, 2011.

KARUPPANAPANDIAN, T.; MOON, J.C.; KIM, C.; MANOHARAN, K.; KIM, W. Reactive oxygen species in plants: their generation, signal transduction, and scavenging mechanisms. **Australian Journal of Crop Science**, v. 5, p. 709-725, 2011.

KATYAL, J.C.; GADALLA, A.M. Fate of urea-N in floodwater. I: Relation with total N loss. **Plant and Soil**, v. 121, p. 21-30, 1990.

KAWAHIGASHI, H. Transgenic plants for phytoremediation of herbicides. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 20, p. 225–230, 2009.

KIM, J.S.; YUN, B.W.; CHOI, J.S.; KIM, T.J.; KWAK, S.S.; CHO, K.Y. Death mechanisms caused by carotenoid biosynthesis inhibitors in green and in undeveloped plant tissues. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 78, p. 127-139, 2004.

KISHOR, P.B.K.; SANGAM, S.; AMRUTHA, R.N.; LAXMI, P.S.; NAIDU, K.R.; RAO, K.R.S.S.; RAO, S.; REDDY, K.J.; THERIAPPAN, P.; SREENIVASULU, N. Regulation of proline biosynthesis, degradation, uptake and transport in higher plants: its implications in plant growth and abiotic stress tolerance. **Current Science**, v. 88, p. 424–438, 2005.

KOCSY, G.; LAURIE, R.; SZALAI, G.; SZILÁGYI, V.; SIMON-SARKADI, L.; GALIBA, G.; DE RONDE, J.A. Genetic manipulation of proline levels affects antioxidants in

soybean subjected to simultaneous drought and heat stresses. **Physiologia Plantarum**, v. 124, p. 227-235, 2005.

KOHLER, B.; BLATT, M.R. Protein phosphorylation activates the guard cell Ca^{2+} channel and is a prerequisite for gating by abscisic acid. **The Plant Journal**, v. 32, p. 185–194, 2002.

KOVALCHUK, I. Multiple roles of radicals in plants. In: GUPTA, S.D. **Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants**. Enfield: Science Publishers, 2010. p.31-44.

KOZLOWSKI, L.A.; RONZELLI JÚNIOR, P.; PURISSIMO, C.; DAROS, E.; KOEHLER, H.S. Interferência de plantas daninhas na cultura do feijoeiro comum em sistema de semeadura direta. **Planta Daninha**, v. 20, p. 213-220, 2002.

KRESLAVSKI, V.D.; ZORINA, A.A.; LOS, D.A.; FOMINA, I.R.; ALLAKHVERDIEV, S.I. Molecular mechanisms of stress resistance of photosynthetic machinery. In: ROUT, G. R.; DAS, A. B. (Ed.). **Molecular stress physiology of plants**. New Delhi: Springer, 2013. p. 21-51.

KRINSKY, N.I. Antioxidant function of carotenoids. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 7, p. 617-35, 1989.

KRISTAL, B.S.; YU, B.P. An emerging hypothesis: synergistic induction of aging by free radicals and Maillard reactions. **Journal of Gerontology**, v. 47, p. 104-107, 1992.

KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: Associação Brasileira de Tecnologia de Sementes (ABRATES), 1999. 218 p.

KUNERT, K. J.; BÖGER, P. The bleaching effect of the diphenyl ether oxyfluorfen. **Weed Science**, v. 29, p. 169-173, 1981.

KVARATSKHELIA, M.; WINKEL, C.; THORNELEY, R.N.F. Purification and characterization of a novel class in peroxidase isoenzyme from tea leaves. **Plant Physiology**, v. 114, p. 1237-1245, 1997.

KWAK, S.S.; KIM, S.K.; PARK, I.H.; LIU, J.R. Enhancement of peroxidase activity by stress related chemicals in sweet potato. **Phytochemistry**, v. 43, p. 565-568, 1996.

LAMEGO, F.P.; GALLON, M.; BASSO, C.J.; KULCZYNSKI, S.M.; RUCHEL, Q.; KASPARY, T.E.; SANTI, A.L. Dessecação pré-colheita e efeitos sobre a produtividade e qualidade fisiológica de sementes de soja. **Planta Daninha**, v. 31, p. 929-938, 2013.

LAMEGO, F.P.; RESENDE, F.V.; DA-SILVA, P.R.; VIDAL, R.A.; NUNES, A.N. Distância genética e geográfica entre acessos de picão-preto suscetíveis e resistentes a herbicidas inibidores da acetolactato sintase. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 963- 968, 2006.

LANGEBARTELS, C.; HARMS, H. Analysis for nonextractable (bound) residues of pentachlorophenol in plant cells using a cell wall fractionation procedure. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 10, p. 268-279, 1985.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa, 2000. 531p.

LE, C.; ZHA, Y.; LI, Y.; SUN, D.; LU, H.; YIN, B. Eutrophication of lake waters in China: cost, causes, and control. **Journal of Environmental Management**, v. 45, p. 662–668, 2010.

LEDFORD, H.K.; NIYOGI, K.K. Singlet oxygen and photo-oxidative stress management in plants and algae. **Plant Cell and Environment**, v. 28, p.1037-1045, 2005.

LEÓN, A.M.; PALMA, J.M.; CORPAS, F.J.; GOMEZ, M.; ROMERO-PUERTAS, M.C.; CHATTERJEE, D.; MATEOS, R.M.; DEL RIO, L.A.; SANDALIO, L.M. Antioxidative enzymes in cultivars of peppers plants with different sensitivity to cadmium. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 40, p. 813-820, 2002.

LICHTENTHALER, H.K. Chlorophylls and carotenoids: pigment photosynthetic biomembranes. **Methods of Enzymology**, v. 148, p. 362-385, 1987.

LIMA, E.S.; ABDALLA, D.S.P. Peroxidação lipídica: mecanismos e avaliação em amostras biológicas. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 37, p. 293-303, 2001.

LIMA, G.P.P.; BRASIL, O.G.; OLIVEIRA, A.M. Poliaminas e atividade da peroxidase em feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivado sob estresse salino. **Scientia Agricola**, v. 56, p. 21-25, 1999.

LIU, Z.J.; ZHANG, X.L.; BAI, J.G.; SUO, B.X.; XU, P.L.; WANG, L. Exogenous paraquat changes antioxidant enzyme actives and lipid peroxidation in drought stressed cucumber leaves. **Scientia Horticulturae**, v. 121, p. 138-143, 2009.

LOCATO, V.; PINTO, M.C.; PARADISO, A.; DE GARA, L. Reactive oxygen species and ascorbate- glutathione interplay in signaling and stress responses. In: GUPTA, S.D. **Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants**. Enfield: Science Publishers, 2010. p.45-64.

LÓPEZ-OVEJERO, R.F. **Desempenho da cultura de milho (*Zea mays* L.) submetida a diferentes herbicidas na ausência de plantas daninhas**. 2000. 46 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2000.

LÓPEZ-OVEJERO, R.F.; FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. Manejo de plantas daninhas na cultura do milho. In: FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Milho: estratégias de manejo para alta produtividade**. Piracicaba: ESALQ, 2003. p. 47-79.

LUNA, C.M.; PASTORI, G.M.; DRISCOLL, S.; GROTEN, K.; BERNARD, S.; FOYER, C.H. Drought controls on H₂O₂ accumulation, catalase (CAT) activity and CAT gene expression in wheat. **Journal of Experimental Botany**, v. 56, p. 417-427, 2005.

LYDON, J.; DUKE, S. O. Porphyrin synthesis is required for photobleaching activity of the nitrosubstituted diphenyl ether herbicides. **Pesticide, Biochemistry and Physiology**, v. 31, p. 74-78, 1988.

MA, N.L.; RAHMAT, Z.; LAM, S.S. A review of the “omics” approach to biomarkers of oxidative stress in *Oryza sativa*. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 14, p. 7515-7541, 2013.

MACIEL, C.D.G.; CORRÊA, M.R.; ALVES, E.; NEGRISOLI, E.; VELINI, E.D.; RODRIGUES, J.D.; ONO, E.O.; BOARO, C.S.F. Influência do manejo da palhada de capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*) sobre o desenvolvimento inicial de soja (*Glycine max*) e amendoim-bravo (*Euphorbia heterophylla*). **Planta Daninha**, v. 21, p. 365-373, 2003.

MAGUIRE, J.D. Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v. 2, p. 176-177, 1962.

MARAMBE, B.; AMARASINGHE, L. Propanil-resistant barnyardgrass [*Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv.] in Sri Lanka: Seedling growth under different temperatures and control. **Weed Biology and Management**, v. 2, p. 194-199, 2002.

MARCHIORI JR, O.; INOUE, M.H.; BRACCINI, A.L.; OLIVEIRA JR, R.S.; AVILA, M.R.; LAWDER, M.; CONSTANTIN, J. Qualidade e produtividade de sementes de canola (*Brassica napus*) após aplicação de dessecantes em pré-colheita. **Planta Daninha**, v. 20, p. 253-261, 2002.

MARCOS FILHO, J.; CÍCERO, S.M.; SILVA, W. R. **Avaliação da qualidade das sementes**. Piracicaba: FEALQ, 1987. 230p.

MARCOS-FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado. In: KRZYZANOWSKI, F.C; VIEIRA, R.D. & FRANÇA-NETO, J.B. **Vigor de sementes conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, Comitê de Vigor de Sementes, 1999. p.1- 24.

MARIOT, C.H.P.; SILVA, P.R.F.; MENEZES, V.G.; TEICHMANN, L.L. Resposta de duas cultivares de arroz irrigado à densidade de semeadura e adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, p. 233-241, 2003.

MATIELLO, R. R.; RONZELLI, P.; PURÍSSIMO, C. Mecanismos de resistência: fatores biológicos, agronômicos e genéticos. In: **Curso de Manejo da Resistência de Plantas aos Herbicidas**, 1999. p. 27-40.

MATRINGE, M.; SCALA, R. Induction of tetrapyrrole accumulation by diphenyl ether-type herbicides. **Processes Crop Protection Conferences Weeds**, v. 3, p. 981-988, 1987.

MATRINGE, M.; CAMADRO, J.M.; LABBE, P.; SCALLA, R. Protoporphyrinogen oxidase as a molecular target for diphenyl ether herbicides. **Biochemical Journal**, v. 260, p. 231-235, 1989.

MATYSIK, J.; ALIA, B.; BHALU, B.; MOHANTY, P. Molecular mechanisms of quenching of reactive oxygen species by praline under stress in plants. **Current Science**, v. 82, p. 525-532, 2002.

MATZENBACHER, F.O.; VIDAL, R.A.; MEROTTO JR, A.; TREZZI, M.M. Environmental and physiological factors that affect the efficacy of herbicides that inhibit the enzyme protoporphyrinogen oxidase: a literature review. **Planta Daninha**, v. 32, p. 457-463, 2014.

McGONIGLE, B.; LAU, S.M.C.; JENNINGS, L.D.; O'KEEFE, D.P. Homoglutathione selectivity by soybean glutathione s- transferases. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 62, p. 15-25, 1998.

MEIRA, F. A.; BUZETTI, S.; FREITAS, J.G.; ARF, O.; SÁ, M.E. Resposta de dois cultivares de arroz à adubação nitrogenada e tratamento foliar com fungicidas. **Acta Scientiarum**, v. 27, p. 91-95, 2005.

MILLER, B.C.; HILL, J.E.; ROBERTS, S.R. Plant population effects on growth and yield in water-seeded rice. **Agronomy Journal**, v. 83, p. 291-297, 1991.

MILLER, G.; SUZUKI, N.; CIFTCI-YILMAZ, S.; MITTLER, R. Reactive oxygen species homeostasis and signalling during drought and salinity stresses. **Plant, Cell & Environment**, v. 33, p. 453-467, 2011.

MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **Plant Science**, v. 7, p. 405-410, 2002.

MITTLER, R.; VANDERAUWERA, S.; GOLLERY, M.; VAN BREUSEGEM, F. Reactive oxygen gene network of plants. **Trends in Plant Science**, v. 9, p. 490-498, 2004.

MOLINARI, H.B.C.; MARUR, C.J.; DAROS, E.; CAMPOS, M.K.F.; CARVALHO, J.F.R.P.; BESPALHOK-FILHO, J.C.; PEREIRA, L.F.P.; VIEIRA, L.G.E. Evaluation of the stress-induce production of proline in transgenic sugarcane (*Saccharum* spp.): osmotic adjustment, chlorophyll fluorescence and oxidative stress. **Physiologia Plantarum**, v. 130, p. 218-229, 2007.

MONTERO, F. Urea incorporada al suelo en Perú. **Arroz en las Américas**, v. 14, p. 2-3, 1993.

MOORE, M.T.; KRÖGER, R. Effect of three insecticides and two herbicides on rice (*Oryza sativa*) seedling germination and growth. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 59, p. 574–581, 2010.

MOSTOWSKA, A.; SIEDLECKA, M.; PARYS, E. Effect of 2,22-bipyridyl, a photodynamic herbicide, on chloroplast ultrastructure, pigment content and photosynthesis rate in pea seedlings. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 18, p. 153-164, 1996.

MUDGE C.R.; WEBSTER E.P.; LEÓN C.T.; ZHANG W. Rice (*Oryza sativa*) cultivar tolerance to clomazone in water-seeded production. **Weed Technology**, v. 19, p. 907-911, 2005.

MUNDSTOCK, C.M; BREDEMEIER, C. Disponibilidade de nitrogênio e sua relação com o afilamento e o rendimento de grãos de aveia. **Ciência Rural**, v. 31, p. 205-211, 2001.

- MURCHIE, E.H.; YANG, J.; HUBBART, S.; HORTON, P.; PENG, S. Are there associations between grain-filling rate and photosynthesis in the flag leaves of field-grown rice? **Journal of Experimental Botany**, v. 53, p. 2217-2224, 2002.
- MYLONA, P.V.; POLIDOROS, A.N. ROS regulation of antioxidant genes. In: GUPTA, S.D. **Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants**. Enfield: Science Publishers, 2011. p.101-128.
- NAJAFI, F.; KHAVARI, R.A.; RASTGAR, J.F.; STICKLEN, M. Physiological changes in pea (*Pisum sativum* L. cv, Green Arrow) under NaCl salinity. **Pakistan Journal of Biological Science**, v. 9, p. 974–978, 2006.
- NEGRISOLI, E.; VELINI, E.D.; TOFOLI, G.R.; CAVENAGHI, A.L.; MARTINS, D.; MORELLI, J.L.; COSTA, A.G.F. Selectivity of pre-emergence herbicides to sugarcane treated with nematicides. **Planta Daninha**, v. 22, p. 567-575, 2004.
- NELSON, D. L.; COX, M. M. **Principles of biochemistry**. 3.ed. New York: Worth Publishers, 2000. 1152 p.
- NEMOTO, K.; MORITA, S.; BABA, T. Shoot and root development in rice related to the phyllochron. **Crop Science**, v. 35, p. 24-29, 1995.
- NI, H.; MOODY, K.; ROBLES, R.O.; PALLER, E.C.; LALES, J.S. *Oryza sativa* plant traits conferring competitive ability against weeds. **Weed Science**, v. 48, p. 200-204, 2000.
- NICHOLSON, R. L.; HAMMERSCHMIDT, R. Phenolic compounds and their role in disease resistance. **Annual Review of Phytopathology**, v. 30, p. 369-89, 1992.
- NICOLAI, M.; LÓPEZ-OVEJERO, R.F.; CARVALHO, S.J.P.; MOREIRA, M.S.; CHRISTOFFOLETI, P.J. Efeitos da adubação nitrogenada em cobertura sobre a seletividade de herbicidas à cultura do milho. **Planta Daninha**, v. 24, p. 279-286, 2006.
- NOCTOR, G.; FOYER, C.H. A re-evaluation of the ATP: NADPH budget during C_3 photosynthesis. A contribution from nitrate assimilation and its associated respiratory activity? **Journal of Experimental Botany**, v. 49, p. 1895-1908, 1998.
- NOHATTO, M.A. **Inter-relações fisiológicas de arroz irrigado com arroz-vermelho em função de nitrogênio ou luz e resposta da cultura a herbicidas**. 2014. 167f. Tese (Doutorado em Fitossanidade) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
- OLIVEIRA JR, R.S. Seletividade de herbicidas para culturas e plantas daninhas. In: OLIVEIRA JR, R.S.; CONSTANTIN, J. **Plantas daninhas e seu manejo**. Guaíba: Agropecuária, 2001. p. 291-313.
- OLIVEIRA JR, R.S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M.H. **Biologia e Manejo de Plantas Daninhas**. Curitiba: Ornnipax, 2011. 348p.
- OLIVEIRA, C.; WESTENDORFF, N.; FONTANA, L.C.; POLIDORO, E.; SILVA, D.R.O.; AGOSTINETTO, D.; AVILA, L.A. Recuperação das plantas de arroz irrigado

não tolerante da toxicidade de imazethapyr + imazapic em resposta à época de adubação nitrogenada. CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 7, 2011, Balneário Camburiú. **Anais do....** Balneário Camburiú: SOSBAI, 2011. p. 289–282.

OLIVEIRA, T. K.; CARVALHO, G. J.; MORAES, R. N. S. Plantas e cobertura e seus efeitos sobre o feijoeiro em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p. 1079-1087, 2002.

OMETTO, J.P.H.B.; EHLERINGER, J.R.; MARTINELLI, L.A.; BERRY, J.; FLANAGAN, L.; DOMINGUES, T.F.; HIGUCHI, N. Variação temporal do isótopo estável do carbono em material arbóreo em florestas da região Amazônica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECOLOGIA, 4., 2003, Fortaleza. **Anais...** Rio Claro: Sociedade de Ecologia do Brasil, 2003. CD-ROM.

OZDEN, M.; DEMIREL, U.; KAHRAMAN, A. Effects of proline on antioxidant system in leaves of grapevine (*Vitis vinifera* L.) exposed to oxidative stress by H₂O₂. **Scientia Horticulturae**, v. 119, p. 163-168, 2009.

PAIVA, A. S.; FERNANDES, E. J.; RODRIGUES, T. J. D.; TURCO, J. E. P. Condutância estomática em folhas de feijoeiro submetido a diferentes regimes de irrigação. **Engenharia Agrícola**, v. 25, p. 161-169, 2005.

PANDA, P.; NATH, S.; CHANU, T.T.; SHARMA, G.D.; PANDA, S.K. Cadmium stress-induced oxidative stress and role of nitric oxide in rice (*Oryza sativa* L.). **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 33, p. 1737-1747, 2011.

PANDHAIR, V.; SEKHON, B.S. Reactive oxygen species and antioxidants in plants: an overview. **Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology**, v. 15, p. 71-78, 2006.

PEGORARO, R.F.; MISTURA, C.; WENDLING, B.; FONSECA, D.M.da; FAGUNDES, J.L. Manejo da água e do nitrogênio em cultivo de capim-elefante. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, p. 461-467, 2009.

PEIXOTO, F.; ALVES-FERNANDES, D.; SANTOS, D.; FONTAÍNHAS-FERNANDES, A. Toxicological effects of oxyfluorfen on oxidative stress enzymes in tilapia *Oreochromis niloticus*. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 85, p. 91–96, 2006.

PEIXOTO, P.H.P. Aluminum effects on lipid peroxidation and on the activities of enzymes of oxidative metabolism in sorghum. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 11, p. 137-143, 1999.

PELLINEN, R.; PALVA, T.; KANGASJÄRVI, J. Subcellular localization of ozone induced hydrogen peroxide production in birch (*Betula pendula*) leaf cells. **The Plant Journal**, v. 20, p. 349-356, 1999.

PENG, C.L.; OU, Z.Y.; LIU, N.; LIN, G.Z. Response to high temperature in flag leaves of super high-yielding rice Pei'ai 64S/E32 and Liangyoupeijiu. **Rice Science**, v. 12, p. 179-186, 2005.

PENG, S.B.; BURESH, R.J.; HUANG, J.L.; YANG, J.C.; ZOU, Y.B.; ZHONG, X.H.; WANG, G.H.; ZHANG, F.S. Strategies for overcoming low agronomic nitrogen use efficiency in irrigated rice systems in China. **Field Crops Research**, v. 96, p. 37-47, 2006.

PERSANS, M.W.; WANG, J.; SCHULER, M.A. Characterization of maize cytochrome P450 monooxygenases induced in response to safeners and bacterial pathogens. **Plant Physiology**, v. 125, p. 1126-1138, 2001.

PETERSON, D. E. The impact of herbicide-resistant weeds on Kansas agriculture. **Weed Technology**, v. 13, p. 632-635, 1999.

PETROV, V. D.; BREUSEGEM, F. van. Hydrogen peroxide: a central hub for information flow in plant cells. **AOB Plants**, v. 2012, p. 1-13, 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, p. 408-414, 2011.

PIESANTI, S. R.; NOHATTO, M. A.; AGOSTINETTO, D.; NEGRETTI, R.; HOLZ, M. T., THURMER, L. fisiologia de plantas de arroz submetidas à aplicação de herbicidas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 28, 2012, Campo Grande. **Anais do...** Campo Grande: SBCPD, 2012.

PILLMOOR, J.B.; GAUNT, J.K.; ROBERTS, T.R. Examination of bound (non-extractable) residues of MCPA and flamprop in wheat straw. **Pesticide Science**, v. 15, p. 375-381, 1984.

PINTO, J.J.O.; GALON, L.; REZENDE, A.L.; LAZAROTO, C.A.; KLEEMANN, A.C.; MUÑOZ, E.R.; DAL MAGRO, T.; SCHIMIDT, M. Influência do nitrogênio, aplicado em diferentes datas, no comportamento de herbicidas pós-emergentes para o controle de plantas daninhas gramíneas na cultura do arroz irrigado. CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 2, 2001, Porto Alegre. **Anais do....** Porto Alegre: SOSBAI, 2001. p. 95-98.

PITELLI, R.A. Interferência de plantas daninhas em culturas agrícolas. **Informe Agropecuário**, v. 11, p. 16-27, 1985

POLETTI, N.; MUNDSTOCK, C.M.; GROHS, D.S.; MAZURANA, M. Padrão de afilamento em arroz afetado pela presença dos íons amônio e nitrato. **Bragantia**, v. 70, p. 96-103, 2011.

POMMEL, B.; GALLAIS, A.; COQUE, M.; QUILLERÉ, I.; HIREL, B.; PRIOUL, J.L.; ANDRIEU, B.; FLORIOT, M. Carbon and nitrogen allocation and grain filling in three maize hybrids differing in leaf senescence. **European Journal of Agronomy**, v. 24, p. 203-211, 2006.

POPINIGIS, F. **Fisiologia de sementes**. Brasília: AGIPLAN, 1985. 289p.

- QIAN, X.; SHEN, Q.; XU, G.; WANG, J.; ZHOU, M. Nitrogen form effects on yield and nitrogen uptake of rice crop grown in aerobic soil. **Journal of Plant Nutrition**, v. 27, p. 1071-1076, 2004.
- QUAN, L.J.; ZHANG, B.; SHI, W.W.; LI, H.I. Hydrogen peroxide in plants: a versatile molecule of the reactive oxygen species network. **Journal of Integrative Plant Biology**, v. 50, p. 2-18, 2008.
- QUEIROZ, R.J.B.; SANTOS, D.M.M.; FERRAUDO, A.S.; CARLIN, S.D.; SILVA, M.A. Biochemical and physiological responses of sugarcane cultivars to soil water deficiencies. **Scientia Agricola**, v. 68, p.469-476, 2011.
- RAIS, L., MASOOD, A., INAM, A., KHAN, N. Sulfur and nitrogen coordinately improve photosynthetic efficiency, growth and proline accumulation in two cultivars of mustard under salt stress. **Journal of Plant Biochemistry and Physiology**, v. 1, p. 1-6, 2013.
- RAY, T. B. Site of action of chlorsulfuron. **Plant Physiology**, v. 75, p. 827-831, 1984.
- REBEIZ, C.A.; MONTAZER-ZOUHOOR, A; HOPEN, H.J.; WU, S.M. Photodynamic herbicides: concept and phenomenology. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 6, p. 390-401, 1984.
- RIZZARDI, M. A.; VARGAS, L.; ROMAN, E. S.; KISSMAN, K. Aspectos gerais do controle de plantas. In: VARGAS, L.; ROMAN, E. S. **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2004. p. 105-144.
- RODRIGUES, B. N; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas**. 6. ed. Londrina: Ed. dos Autores, 2011. 697 p.
- RODZIEWICZ, P.; SWARCEWICZ, B.; CHMIELEWSKA, K.; WOJAKOWSKA, A.; STOBIECKI, M. Influence of abiotic stresses on plant proteome and metabolome changes. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 36, p. 1-19, 2014.
- ROMAN, E. S. **Como funcionam os herbicidas – da biologia à aplicação**. 1.Ed. Passo Fundo: Ed Berthier, 2007. 159 p.
- ROMAN, E.S.; THOMAS, A.G.; MURPHY, S.D.; SWANTON, C.J. Modeling germination and seedling elongation of common lambsquarters (*Chenopodium album*). **Weed Science**, v. 47, p. 149-155, 1999.
- RUBIM, B. Herbicide resistance in weeds and crops, progress and prospects. In: CASELEY, J. C.; CUSSANS, G. W.; ATKIN, R. K. **Herbicide resistance in weeds and crops**, Oxford: Butterworth-Heinemann, 1991. p. 387-414.
- SALGADO, T.P.; SALLES, M.S.; MARTINS, J.V.F.; ALVES, P.L.C.A. Inter-ferência das plantas daninhas no feijoeiro carioca. **Planta Daninha**, v. 25, p. 443-448, 2007.
- SANTOS, F. S.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; MAZUR, N.; GARBISU, C.; BARRUTIA, O.; BECERRIL, J. B. Resposta antioxidante, formação de fitoquelatinas e composição de pigmentos fotoprotetores em brachiaria decumbens stapf submetida à contaminação com Cd e Zn. **Química Nova**, v. 34, p. 16-20, 2011.

SANTOS, J.B., FERREIRA, E.A., SANTOS, E.A., SILVA, A.A., SILVA, F.M., FERREIRA, L.R. Qualidade de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris*) após aplicação do carfentrazone-ethyl em pré-colheita. **Planta Daninha**, v. 22, p. 633-639, 2004.

SCANDALIOS, J. G. Oxidative stress: molecular perception and transduction of signals triggering antioxidant gene defenses. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, v. 38, p. 995-1014, 2005.

SCANDALIOS, J.G.; ACEVEDO, A.; RUZSA, S. Catalase gene expression in response to chronic high temperature stress in maize. **Plant Science**, v. 156, p. 103-110, 2000.

SCHAT, H.; SHARMA, S.S.; VOOIJS, R. Heavy metal-induced accumulation of free praline in a metal-tolerant and a non-tolerant ecotype of *Silene vulgaris*. **Physiologia Plantarum**, v. 101, p. 477-482, 1997.

SCHERDER E.F.; TALBERT R.E.; CLARK S.D. Rice (*Oryza sativa*) cultivar tolerance to clomazone. **Weed Technology**, v. 18, p. 140-144, 2004.

SCHOLTEN, R.; PARREIRA, M.C.; ALVES, P.L.C.A. Período anterior à interferência das plantas daninhas para a cultivar de feijoeiro 'Rubi' em função do espaçamento e da densidade de semeadura. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 33, p. 313-320, 2011.

SCHROEDER, J.I.; KWAK, J.M.; AND ALLEN, G.J. Guard cell abscisic acid signaling and engineering drought hardiness in plants. **Nature**, v. 410, p. 327-330, 2001.

SCHUSTER, M.Z.; SZYMCAK, L.S.; LUSTOSA, S.B.C.; PELISSARI, A.; MORAES, A.; FRANCISCO, R. Interferência de plantas daninhas no estabelecimento do trevo branco como cultura forrageira. **Ciência Rural**, v. 43, p. 2148-2153, 2013.

SEEFELDT, S. S.; OGG JR., A. G.; HOU, Y. Near-isogenic lines for *Triticum aestivum* height and crop competitiveness. **Weed Science**, v. 47, p. 316-320, 1999.

SEIBERT, A. C.; PEARCE, R. B. Growth analysis of weed and crop species with reference to seed weight. **Weed Science**, v. 41, p. 52-56, 1993.

SERGIER, I.; ALEXIEVA, V.; KARANOV, E. Effect of spermine, atrazine and combination between them on some endogenous protective systems and stress markers in plant. **Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences**, v. 51, p. 121-124, 1997.

SERKEDJIEVA, J. Antioxidant effects of plant polyphenols: a case study of a polyphenol-rich extract from *Geranium sanguineum* L. In: GUPTA, S.D. **Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants**. Enfield: Science Publishers, 2011. p. 275-293.

SHARMA, P.; JHA, A.B.; DUBEY, R.S.; PESSARAKLI, M. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stress conditions. **Journal of Botany**, v. 2012, p. 1-26, 2012.

SHARMA, S.; VILLAMOR, J.G.; VERSLUES, P.E. Essential role of tissue-specific proline synthesis and catabolism in growth and redox balance at low water potential. **Plant Physiology**, v. 157, p. 292-304, 2011.

SHARMA, S.S.; DIETZ, K.J. The significance of amino acids and amino acid-derived molecules in plant responses and adaptations to heavy metal stress. **Journal of Experimental Botany**, v. 57, p. 711-726, 2006.

SHAVIV, A. Improvement of fertilizer efficiency: product processing, positioning and application methods. **Proceedings International Fertility Society**, v. 469, p. 1-23, 2001.

SHERMAN, T.D.; BECERRIL, J.M.; MATSUMOTO, H.; DUKE, M.V.; JACOBS, J.M.; JACOBS, N.J.; DUKE, S.O. Physiological basis for differential sensitivities of plant species to protoporphyrinogen oxidase-inhibiting herbicides. **Plant Physiology**, v. 97, p. 280-287, 1991.

SHURTLEFF, J.L.; COBLE, H.D. The interaction of soybean (*Glycine max*) and five weed species in the greenhouse. **Weed Science**, v. 33, p. 669-672, 1985.

SIEGEL, B.Z. Plant peroxidases: an organism perspective. **Plant Growth Regulation**, v. 12, p. 303-312, 1993.

SIGNORELLI, S.; COITIN, O.E.L.; BORSANI, O.; MONZA, J. Molecular mechanisms for the reaction between OH radicals and proline: insights on the role as reactive oxygen species scavenger in plant stress. **The Journal of Physical Chemistry B**, v. 118, p. 37-47, 2014.

SIMPSON, J. R., FRENEY, J. R., WETSELAAR, R. Transformations and of urea losses of urea nitrogen after applications to flooded rice. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 35, p. 189-200, 1984.

SINGH, S.P.; PILLAI, K.G. Response of scented rice varieties to nitrogen. **Oryza**, v. 33, p. 193-195, 1996

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO (SOSBAI). **Arroz Irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Gravatal, SC: SOSBAI, 2012. 179 p.

SOMASHEKARAIHA S. V.; PADMAJA, K.; PRASAD, A.R.K. Phytotoxicity of cadmium ions on germinating seedlings of mung bean (*Phaseolus vulgaris*): involvement of lipid peroxidation in chlorophyll degradation. **Physiologia Plantarum**, v. 85, p. 85-89, 1992.

SONG, N.H.; YIN, X.L.; CHEN, G.F.; YANG, H. Biological responses of wheat (*Triticum aestivum*) plants to the herbicide chlorotoluron in soils. **Chemosphere**, v. 68, p. 1779-1787, 2007.

SOOD, A.; KALRA, C.; PABBI, S.; UNİYAL, P.L. Differential responses of hydrogen peroxide, lipid peroxidation and antioxidant enzymes in *Azolla microphylla* exposed to paraquat and nitric oxide. **Biologia**, v. 6, p. 1119-1128, 2012.

SPINOLA, M. C. M.; CÍCERO, S. M.; MELO, M. Alterações bioquímicas e fisiológicas em sementes de milho causadas pelo envelhecimento acelerado. **Scientia Agrícola**, v. 57, p. 263- 270, 2000.

SRIVALLI, B.; VISHANATHAN, C.; RENU, K.C. Antioxidant defense in response to abiotic stresses in plants. **Journal of Plant Biology**, v. 30, p. 121–139, 2003.

STARRAT, A.N.; LAZAROVITS, G. Increases in free amino acids levels in tomato plants accompanying herbicide-induced disease resistance. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 54, p. 230-240, 1996.

STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A. Efeitos de sistemas de preparo de solo no uso da água e na produtividade do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, p. 835-841, 2000.

STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. da; MOREIRA, J.A.A.; YOKOYAMA, L.P. Adubação nitrogenada em arroz sob irrigação suplementar por aspersão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, p. 929-932, 1999.

SUGIYAMA, A.; SEKIYA, J. Homoglutathione confers tolerance to acifluorfen in transgenic tobacco plants expressing soybean homoglutathione synthetase. **Plant Cell Physiology**, v. 46, p. 1428-1432, 2005.

SUI, B.; FENG, X.; TIAN, G.; HU, X.; SHEN, Q.; GUO, S. Optimizing nitrogen supply increases rice yield and nitrogen use efficiency by regulating yield formation factors. **Field Crops Research**, v. 150, p. 99–107, 2013.

SUNDQUIST, E.A.; BRIVIBA, K.; SIES, H. Singlet oxygen quenching by carotenoids. **Methods in Enzymology**, v. 234, p. 354-366, 1994.

SUNTRES, Z.E. Role of antioxidants in paraquat toxicity. **Toxicology**, v. 180, p. 65-77, 2002.

SYROS, T.; YUPSANIS, T.; ZAFIRIADIS, H.; ECONOMOU, A. Activity and isoforms of peroxidases, lignin and anatomy, during adventitious rooting in cuttings of *Ebenus cretica* L. **Journal of Plant Physiology**, v. 161, p. 69–77, 2004.

SZABADOS, L.; SAVOURÉ, A. Proline: a multifunctional amino acid. **Trends in Plant Science**, v. 15, p. 89-97, 2010.

SZÉKELY, G.; ABRAHAM, E.; CSELO, A.; RIGO, G.; ZSIGMOND, L.; CSISZAR, J.; AYAYDIN, F.; STRIZHOV, N.; JASIK, J.; SCHMELZER, E.; KONCZ, C.; SZABADOS, L. Duplicated P5CS genes of Arabidopsis play distinct roles in stress regulation and developmental control of proline biosynthesis. **The Plant Journal**, v. 53, p. 11-28, 2008.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4.ed. Porto Alegre:Artmed, 2009. 820 p.

TAKAHASHI, S.; MURATA, N. How do environment stresses accelerate photoinhibition? **Trends in Plant Science**, v. 13, p. 178-182, 2008.

TAYLARAN, R.D.; ADACHI, S.; OOKAWA, T.; USUDA, H.; HIRASAWA, T. Hydraulic conductance as well as nitrogen accumulation plays a role in the higher rate of leaf photosynthesis of the most productive variety of rice in Japan. **Journal of Experimental Botany**, v. 62, p. 4067–4077, 2011.

TEISSEIRE, H.; VERNET, G. Is the “Diuron effect” due to a herbicide strengthening of antioxidative defenses of *Lemna minor*? **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 66, p. 153-160, 2000.

TEWARI, R.K.; KUMAR, P.; TEWARI, N.; SRIVASTAVA, S.; SHARMA, P.N. Macronutrient deficiencies and differential antioxidant responses - influence on the activity and expression of superoxide dismutase in maize. **Plant Science**, v. 166, p. 687-694, 2004.

TORELLO, W.A.; RICE, L.A. Effects of NaCl stress on proline and cation accumulation in salt sensitive and tolerant turf grasses. **Plant and Soil**, v. 93, p. 241-247, 1986.

TRIPATHY, B. C.; MOHAPATRA, A.; GUPTA, I. Impairment of the photosynthetic apparatus by oxidase stress induced by photosensitization reaction of protoporphyrin IX. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 1767, p. 860-868, 2007.

UCHIDA, A.; JAGENDORF, A.T.; HIBINO, T.; TAKABE, T.; TAKABE, T. Effect of hydrogen peroxide and nitric oxide on both salt and heat stress tolerance in rice. **Plant Science**, v. 163, p. 515–523, 2002.

VAHL, L. C.; SOUZA, R. O. Aspectos físico-químicos de solos alagados. In: GOMES, A. da S., MAGALHÃES JUNIOR, A. M. de (Org). **Arroz irrigado no sul do Brasil**. Embrapa, Brasília, p.97-117, 2004.

VAN BREUSEGEM, F.; VRANOVÁ, E.; DAT, J.F.; INZÉ, D. The role of active oxygen species in plant signal transduction. **Plant Science**, v. 161, p. 405-414, 2001.

VENSKE, E. **Temperatura e luz sobre tolerância ao frio na germinação, emergência e seletividade de herbicidas em arroz**. 2013. 59 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Sementes) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

VERBRUGGEN, N.; HERMANS, C. Proline accumulation in plants: a review. **Amino Acids**, v. 35, p. 753–759, 2008.

VIEIRA, R. D.; CARVALHO, N. M. **Teste de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP, 1994. 164 p.

VLEK, P. L. G.; STUMPE, J. M.; BYRNES, B. H. Urease activity and inhibition in flooded soil systems. **Fertilizer Research**, v. 1, p. 191-202, 1980.

VOLKOV, R.A.; PANCHUK, I.I.; MULLINEAUX, P.M.; SCHÖFFL, F. Heat stress induced H₂O₂ is required for effective expression of heat shock genes in *Arabidopsis*. **Plant Molecular Biology**, v. 61, p. 733-746, 2006.

VRANOVA, E.; ATICHARTPONGKUL, S.; VILLARROEL, R.; MONTAGU, M.V.; INZE, D.; CAMP, W.V. Comprehensive analysis of gene expression in *Nicotiana tabacum* leaves acclimated to oxidative stress. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 99, p. 870-875, 2002.

WAKABAYASHI, K.; BÖGER, P. General physiological characteristics and mode of action of peroxidizing herbicides. In: **Peroxidizing Herbicides**. Heidelberg: Springer, 1999. p.163-190.

WAKABAYASHI, K.; BÖGER, P. Phytotoxic sites of action for molecular design of modern herbicides (Part 1): the photosynthetic electron transport system. **Weed Biology and Management**, v. 4, p. 8-18, 2004.

WANG, M.; ZHOU, Q. X. Effects of herbicide chlorimuron-ethyl on physiological mechanisms in wheat (*Triticum aestivum*). **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 64, p. 190–197, 2006.

WANG, W.N.; LU, J.W.; REN, T.; LI, X.K.; SU, W.; LU, M.X. Evaluating regional mean optimal nitrogen rates in combination with indigenous nitrogen supply for rice production. **Field Crops Research**, v. 137, p. 37–48, 2012.

WANG, X.T.; BELOW, F.E. Cytokinins in enhanced growth and tillering of wheat induced by mixed nitrogen source. **Crop Science**, v. 36, p. 121-126, 1996.

WANG, Y.S.; YANG, Z.M. Nitric oxide reduces aluminum toxicity by preventing oxidative stress in the roots of *Cassia tora* L. **Plant Cell Physiology**, v. 46, p. 1915-23, 2005.

WANG, M.; ZHOU, Q.; REN, B.L. Toxicological responses in wheat *Triticum aestivum* under joint stress of chlorimuron-ethyl and copper. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 72, p. 2121–2129, 2009.

WEBSTER E.P.; BALDWIN F.L.; DILLON T. L. The potential for clomazone use in rice (*Oryza sativa*). **Weed Technology**, v. 13, p. 390-393, 1999.

WEI, N.; DENG, X.W. The role of the COP/DET/FUS genes in light control of *Arabidopsis* seedling development. **Plant Physiology**, v. 112, p. 871-878, 1996.

WELLER, S. Photosystem II inhibitors. In: **Herbicide action course**. West Lafayette: Purdue University, 2003. p.131-184.

WITKOWSKI, D. A.; HALLING, B. P. Accumulation of photodynamic tetrapyrroles induced by acifluorfen-methyl. **Plant Physiology**, v. 87, p. 632-637, 1988.

WITKOWSKI, D. A.; HALLING, B. P. Inhibition of plant protoporphyrinogen oxidase by the herbicide acyfluorfen-methyl. **Plant Physiology**, v. 90, p. 1239-1242, 1989.

WU, G.L.; CUI, J.; TAO, L.; YANG, H. Fluroxypyr triggers oxidative damage by producing superoxide and hydrogen peroxide in rice (*Oryza sativa*). **Ecotoxicology**, v. 19, p. 124-132, 2010.

WU, Y.; VON TIEDEMANN, A. Impact of fungicides on active oxygen species and antioxidant enzymes in spring barley (*Hordeum vulgare* L.) exposed to ozone. **Environmental Pollution**, v. 116, p. 37-47, 2002.

XIE, Y.X.; XIONG, Z.Q.; XING, G.X.; SUN, G.Q.; ZHU, Z.L. Assessment of nitrogen pollutant sources in surface waters of Taihu Lake region. **Pedosphere**, v. 17, p. 200–208, 2007.

XING, G.X.; CAO, Y.C.; SHI, S.L.; SUN, G.Q.; DU, L.J.; ZHU, J.G. N pollution sources and denitrification in water bodies in Taihu Lake region. **Science in China Series B: Chemistry**, v. 44, p. 304–314, 2001.

XING, G.X.; ZHU, Z.L. An assessment of N loss from agricultural fields to the environment in China. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 57, 67–73, 2000.

XU, J.Z.; PEN, S.Z.; YANG, S.H.; WANG, W.G. Ammonia volatilization losses from a rice paddy with different irrigation and nitrogen managements. **Agricultural Water Management**, v. 104, p. 184–192, 2012.

XUE Y.J.; TAO, L.; YANG, Z.M. 2008. Aluminum-induced cell wall peroxidase activity and lignin synthesis are differentially regulated by jasmonate and nitric oxide. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 56, p. 9676–9684.

XUEJUN, L.; FUSUO, Z. Nitrogen fertilizer induced greenhouse gas emissions in China. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 3, p. 407–413, 2011.

YAMANE, K.; TANIGUCHI, M.; MIYAKE, H. Salinity-induced subcellular accumulation of H₂O₂ in leaves of rice. **Protoplasma**, v. 249, p. 301-308, 2012.

YUAN, J.S.; TRANEL, P.J.; STEWART JR., C.N. Non-target-site herbicide resistance: a family business. **Trends in Plant Science**, v. 12, p. 6-13, 2007.

ZHANG C.Y.; WANG N.N.; ZHANG Y.H.; FENG Q.Z.; YANG C.W.; LIU B. DNA methylation involved in proline accumulation in response to osmotic stress in rice (*Oryza sativa*). **Genetics and Molecular Research**, v. 12, p. 1269–1277, 2013.

ZHANG W.; WEBSTER E.P.; BLOUIN D.C.; LINScombe, S.D. Differential tolerance of rice (*Oryza sativa*) varieties to clomazone. **Weed Technology**, v. 18, p. 73-76, 2004.

ZHANG, J.J.; LU, Y.C.; ZHANG, J.J.; TAN, L.R.; YANG, H. Accumulation and toxicological response of atrazine in rice crop. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 102, p. 105-112, 2014.

ZHANG, Y.; LUO, Y.; HOU, Y.X.; JIANG, H.; CHEN, Q.; TANG, H.R. Chilling acclimation induced changes in the distribution of H₂O₂ and antioxidant system of strawberry leaves. **Agricultural Journal**, v. 3, p. 286-291, 2008.

ZHANG, Z.J.; CHU, G.; LIU, L.J.; WANG, Z.Q.; WANG, X.M.; ZHANG, H.; YANG, J.C.; ZHANG, J.H. Mid-season nitrogen application strategies for rice varieties differing in panicle size. **Field Crops Research**, v. 150, p. 9–18, 2013.

ZHONG, X.; PENG, S.; SHEEHY, J.E.; VISPERAS, R.M.; LIU, H. Relationship between tillering and leaf area index: quantifying critical leaf area index for tillering in rice. **Journal of Agricultural Science**, v. 138, p. 269–279, 2002.

ZHOU, Y.; LAM, H.M.; ZHANG, J. Inhibition of photosynthesis and energy dissipation induced by water and high light stresses in rice. **Journal of Experimental Botany**, v. 58, p. 1207-1217, 2007.

ZHOU, Z.S.; WANG, S.J.; YANG, Z.M. Biological detection and analysis of mercury toxicity to alfalfa (*Medicago sativa*) plants. **Chemosphere**, v. 70, p. 1500–1509, 2008.

ZHU, Z.L.; CHEN, D.L. Nitrogen fertilizer use in China: Contributions to food production impacts on the environment and best management strategies. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 63, p. 117–127, 2002.

ZIA, M. S.; ASLAM, M.; GILL, M. A. Nitrogen management and fertilizer use efficiency for lowland rice in Pakistan. **Soil Science & Plant Nutrition**, v. 38, p. 323-330, 1992.

VITA

Ana Claudia Langaro é filha de Gilberto Langaro e Maria Inês Dametto Langaro. Nasceu em 10 de maio de 1989, no Município de Tapejara, Rio Grande do Sul. Formou-se pelo Colégio Estadual Marquês de Maricá em Vila Lângaro/RS no ano de 2006. No ano de 2007 ingressou no curso de Agronomia da Universidade Federal de Pelotas (UFPel), onde se graduou como Engenheira Agrônoma em 2012. No período de 2008 a 2012 desenvolveu atividades como estagiária e bolsista de Iniciação Científica (PIBIC/FAPERGS), atuando no Departamento de Fitossanidade. Em 2012, realizou estágio curricular obrigatória na University of Kentucky – KY-Us, onde realizou trabalhos na área de melhoramento de tabaco e seleção assistida por marcadores moleculares. Em 2013, iniciou o curso de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, em Capão do Leão/RS.