



**EVERSON REIS CARVALHO**

**MANGANÊS VIA FOLIAR EM SOJA  
CONVENCIONAL E TRANSGÊNICA RR:  
EFEITOS NA QUALIDADE DE SEMENTES,  
ATIVIDADE ENZIMÁTICA, LIGNINA E  
PRODUTIVIDADE**

**LAVRAS – MG**

**2013**

**EVERSON REIS CARVALHO**

**MANGANÊS VIA FOLIAR EM SOJA CONVENCIONAL E  
TRANSGÊNICA RR: EFEITOS NA QUALIDADE DE SEMENTES,  
ATIVIDADE ENZIMÁTICA, LIGNINA E PRODUTIVIDADE**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

Orientador

Dr. João Almir Oliveira

**LAVRAS – MG**

**2013**

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca da UFLA**

Carvalho, Everson Reis.

Manganês via foliar em soja convencional e transgênica RR:  
efeitos na qualidade de sementes, atividade enzimática, lignina e  
produtividade / Everson Reis Carvalho. – Lavras : UFLA, 2013.  
134 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2013.  
Orientador: João Almir Oliveira.  
Bibliografia.

1. *Glycine max*. 2. Micronutrientes. 3. Qualidade fisiológica. 4.  
Nutrição mineral. 5. Qualidade sanitária. I. Universidade Federal de  
Lavras. II. Título.

CDD – 631.521

**EVERSON REIS CARVALHO**

**MANGANÊS VIA FOLIAR EM SOJA CONVENCIONAL E  
TRANSGÊNICA RR: EFEITOS NA QUALIDADE DE SEMENTES,  
ATIVIDADE ENZIMÁTICA, LIGNINA E PRODUTIVIDADE**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 20 de fevereiro de 2013.

Dra. Sttela Dellyzete Veiga Franco da Rosa	EMBRAPA
Dr. Antonio Rodrigues Vieira	EPAMIG
Dr. Renato Mendes Guimarães	UFLA
Dr. José Luís Contado	UFLA

Dr. João Almir Oliveira  
Orientador

**LAVRAS – MG**

**2013**

*Aos meus pais, Evaristo e Vera;  
À minha irmã Isabella;  
A todos os familiares e amigos.*

**DEDICO**

*A Deus;  
A Nossa Senhora Aparecida;  
por possibilitarem tamanha conquista.*

**OFEREÇO**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus e a Nossa Senhora Aparecida, pela vida, força, proteção e saúde para completar mais esta etapa;

Aos meus pais, Evaristo e Vera, pelo exemplo de luta, amor, confiança, dedicação e pelo apoio em todos os momentos;

À minha irmã, Isabella, pelo apoio, incentivo, carinho e amizade;

À Nayra, pelo carinho, amizade, confiança e companheirismo;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsa de estudos. À FAPEMIG e ao CNPq, pelo apoio, por meio de equipamentos e materiais para a realização dos trabalhos;

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Agricultura (DAG), em especial ao Setor de Sementes, pela oportunidade de realização deste trabalho;

Ao meu orientador, Prof. Dr. João Almir Oliveira, por toda atenção, amizade, apoio e ensinamentos de grande valia;

Aos professores do Setor de Sementes (DAG), Profa. Dra. Édila Vilela de Resende Von Pinho, Prof. Dr. Renato Mendes Guimarães, Profa. Dra. Maria Laene Moreira de Carvalho e aos Pesquisadores Dr. Antonio Rodrigues Vieira (EPAMIG) e a Dra. Sttela Dellyzete Veiga Franco da Rosa (Embrapa Café), por todos os conhecimentos repassados, amizade e atenção;

Aos professores do Departamento de Agricultura, em especial Prof. Dr. Pedro Milanez de Rezende, Prof. Dr. Adriano Teodoro Bruzi e Prof. Dr. Élberis Pereira Botrel, pelos ensinamentos e disponibilidade;

Aos funcionários do Laboratório de Sementes da UFLA e do setor de grandes culturas, pela disponibilidade e atenção durante a realização do trabalho;

A todos os amigos do DAG e do Setor de Sementes, em especial à “Turma do João”: Frederico, Jaime, Ísis, Cibele, Valquíria, Michele, Denílson,

Leandro Vilela, Leandro Pena, Thaís, Brunna, Fernanda e Vanessa, pelo imenso auxílio na condução do experimento, contribuições e momentos de descontração;

Ao Centro tecnológico para pesquisas agropecuárias (CTPA), Goiânia, pela concessão das sementes, ao Eng. Agr. DSc. Luiz Bottino, pelo fornecimento do adubo foliar e ao Departamento de Química da UFLA, pela realização das análises de Mn nas sementes;

Aos amigos, Thiago, Frederico e Juninho, pela ajuda, alegria, e companheirismo durante todo o tempo de convivência;

Enfim, a todos aqueles que acreditaram em mim e que, de uma forma ou de outra, contribuíram nesta etapa da minha vida, embora não citados aqui, merecem meu agradecimento;

Sinceros agradecimentos, pois vocês fazem parte da minha história.

**OBRIGADO!**

## RESUMO

O manganês (Mn) está associado à ativação de enzimas, tais como as relacionadas à síntese de lignina, que pode afetar a qualidade das sementes. Existem relatos de que plantas de soja transgênicas, tolerantes ao glifosato (RR), são menos eficientes do que as convencionais no acúmulo de Mn e que cultivares RR possuem teores de lignina superiores. No entanto, os resultados são ainda discrepantes. Assim, objetivou-se neste trabalho avaliar o efeito da aplicação foliar com Mn em soja, no processo produtivo e na qualidade das sementes de cultivares convencionais e de derivadas RR. O ensaio foi conduzido na Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, MG, em blocos casualizados, com três repetições e esquema fatorial 4 x 4 x 2, sendo quatro cultivares de soja, duas convencionais e suas derivadas RR (Celeste e Baliza RR, Jataí e Silvânia RR), quatro doses de Mn via foliar (0; 200; 400 e 600 g Mn ha<sup>-1</sup>) e dois estádios de aplicação (R<sub>1</sub> ou R<sub>3</sub>). Foram avaliadas as características agrônomicas (acamamento; número de legumes por planta; peso de mil sementes e produtividade), a composição química (Lignina e Mn), a atividade enzimática (esterase, EST; isocitrato liase, ICL; álcool desidrogenase, ADH; malato desidrogenase, MDH; superóxido dismutase, SOD; peroxidase, PRX), a qualidade fisiológica (germinação, envelhecimento acelerado, emergência, condutividade elétrica e tetrazólio) e a qualidade sanitária das sementes, antes e após o armazenamento. Quanto às características agrônomicas constatou-se que a resposta à aplicação do Mn pode estar condicionada ao genótipo e não à modificação genética RR, com aumento na produtividade de sementes de Baliza RR e Celeste em função da utilização do Mn foliar, valores máximos obtidos com 150 g Mn ha<sup>-1</sup>. Houve tendência de melhores resultados quando da aplicação de Mn no estádio R<sub>1</sub>. Em relação à qualidade das sementes, Celeste e Baliza RR apresentam sementes com melhor qualidade fisiológica quando comparadas às de Jataí e Silvânia RR. A aplicação foliar de Mn proporciona melhor qualidade fisiológica e sanitária das sementes. Para a composição química observou-se que o Mn aplicado via foliar transloca até as sementes, mas não altera o teor de lignina no tegumento das mesmas. Os teores de lignina no tegumento das sementes de soja RR são superiores aos de suas convencionais. Sementes de cultivares de soja com maiores teores de lignina no tegumento não apresentam necessariamente melhor qualidade fisiológica. As expressões da SOD, PRX, EST e ICL em sementes de soja são afetadas em função da aplicação de Mn foliar, independente do estádio de aplicação. Nas sementes das cultivares que apresentam melhor qualidade fisiológica, Celeste e Baliza RR, são constatadas maiores expressões de ADH e ICL e menores de MDH e PRX.

Palavras-chave: *Glycine max*. Micronutrientes. Nutrição mineral. Qualidade fisiológica. Qualidade sanitária.



## ABSTRACT

The Mn is associated with enzymes activation, which include the ones related to the formation of lignin, and the latter may influence seed quality. There are reports that glyphosate-resistant (GR) soybean plants are less efficient than conventional ones in accumulation of Mn and that GR soybean has greater lignin content than conventional. However, studies on these areas still are contrasting. The aim of this study was to evaluate the influence of foliar Mn application in the production process and in the quality of soybean seeds, in conventional cultivars and its derived GR. The experiment was carried out at the Federal University of Lavras, MG state, using a randomized block design with three replications and a 4 x 4 x 2 factorial structure, with four soybean cultivars, two conventional and its derived GR (Celeste and Baliza RR, Jataí and Silvânia RR), four rates of foliar Mn (0; 200; 400 and 600 g Mn ha<sup>-1</sup>) and two stages of application (R<sub>1</sub> or R<sub>3</sub>). It was evaluated the agronomic traits (lodging, number of pods per plant, thousand seed weight and yield), the chemical composition (lignin content in the seed coat and the Mn content in the seed), the enzyme activity (esterase, EST; isocitrate lyase, ICL; alcohol dehydrogenase, ADH; malate dehydrogenase, MDH; superoxide dismutase, SOD; peroxidase, PRX) and physiological (germination, accelerated aging, emergency, electrical conductivity and tetrazolium) and sanitary quality of seeds, before and after storage. In regards to the agronomic traits, it was found that the response to the application of Mn might be conditioned to the genotype rather than to the GR genetic modification, with increase in seed yield of Baliza RR and Celeste with of foliar Mn application, maximum values obtained with 150 g Mn ha<sup>-1</sup>. There was a trend of better results when applied Mn in R<sub>1</sub>. In relations to seed quality, Celeste and Baliza RR seed have better physiological quality when compared to Jataí and Silvânia RR. The foliar Mn application provides better physiological and sanitary quality of seeds. For the chemical composition it was observed that Mn applied by foliar translocates to the seeds, but doesn't modify the lignin content in the seed coat. The lignin content in the GR soybeans seeds coat are superior to their conventional ones. Soybean cultivars whose seeds have higher lignin contents in the seed coat not necessarily present better physiological quality. In what concerns the enzymes, it was observed that the expression of SOD, PRX, EST and ICL in soybean seeds are affected due to the foliar Mn application, regardless the stage of application. In the seeds of cultivars that have better physiological quality, Celeste and Baliza RR, it is found higher expression of ADH and ICL, but lower expression of MDH and PRX.

Keywords: *Glycine max.* Micronutrients. Mineral nutrition. Physiological quality. Sanitary quality.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Precipitação pluviométrica (mm), temperatura média (°C) e umidade relativa do ar (%) diárias, novembro de 2010 a maio de 2011. Estação Climatológica Principal de Lavras, Departamento de Engenharia, UFLA, Lavras, MG .....	40
Figura 2	Temperatura média (°C) e umidade relativa do ar (%), diárias e externas durante o período de armazenamento, entre junho e novembro de 2011. Estação Climatológica Principal de Lavras, Departamento de Engenharia, UFLA, Lavras, MG .....	51
Figura 3	Equação de regressão para número de legumes por planta, em função de doses de Mn foliar aplicadas às plantas de diferentes cultivares de soja. *significativo a 5% de probabilidade pelo teste F .....	54
Figura 4	Equação de regressão para produtividade de soja, em função de doses de Mn foliar aplicadas às plantas em diferentes estádios e cultivares. *significativo a 5% de probabilidade pelo teste F .....	58
Figura 5	Fitotoxidez em folhas de soja após aplicação de 600 g Mn ha <sup>-1</sup> via foliar .....	59
Figura 6	Equação de regressão para germinação de sementes de soja, porcentagem de plântulas normais aos 5 dias, em função de doses de Mn foliar aplicadas às plantas produtoras. *significativo a 5% de probabilidade pelo teste F .....	65
Figura 7	Equação de regressão para índice de velocidade de emergência (IVE) de plântulas de soja, em função de doses de Mn foliar aplicadas às plantas produtoras de sementes em diferentes estádios e cultivares. *significativo a 5% de probabilidade pelo teste F .....	67
Figura 8	Equação de regressão para condutividade elétrica de sementes de cultivares de soja em função de doses de Mn foliar aplicadas às plantas produtoras. *significativo a 5% de probabilidade pelo teste F .....	71
Figura 9	Equação de regressão para viabilidade (Vb) e vigor (Vg) obtida no teste de tetrazólio em sementes de soja, em função de doses de Mn foliar aplicadas às plantas produtoras. *significativo a 5% de probabilidade pelo teste F .....	73
Figura 10	Equação de regressão para danos mecânicos verificados em sementes de soja no teste de tetrazólio (1-8), em função de doses de Mn foliar aplicadas às plantas produtoras de diferentes cultivares. *significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, ** transformados em $\sqrt{x+1}$ .....	75
Figura 11	Equação de regressão para incidência de <i>Cercospora kikuchii</i> em sementes de soja, em função de doses de Mn foliar aplicadas às plantas produtoras de diferentes cultivares. *significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, ** transformados em $\sqrt{x+1}$ .....	78
Figura 12	Equação de regressão para incidência de <i>Fusarium</i> spp. em sementes de soja, em função de doses de Mn foliar aplicadas às plantas produtoras de diferentes cultivares. *significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, ** transformados em $\sqrt{x+1}$ .....	79
Figura 13	Equação de regressão para incidência de <i>Phomopsis</i> sp. em sementes de soja, em função de doses de Mn foliar aplicadas às plantas produtoras de diferentes cultivares. *significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, ** transformados em $\sqrt{x+1}$ .....	81

Figura 14	Equação de regressão para teor de manganês em sementes de soja, em função de doses de Mn foliar aplicadas às plantas produtoras de diferentes cultivares. *significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.....	83
Figura 15	Padrões enzimáticos de sementes de soja das cultivares Baliza RR e Celeste, Silvânia RR e Jataí produzidas sob diferentes doses e estádios de aplicação de Mn foliar, revelados para esterase (EST). Sendo: 1(0, R1), 2(0, R3), 3 (200, R1), 4 (200, R3), 5(400, R1), 6 (400, R3), 7 (600, R1) e 8 (600 g Mn ha <sup>-1</sup> em R3).....	89
Figura 16	Padrões enzimáticos de sementes de soja das cultivares Baliza RR e Celeste, Silvânia RR e Jataí produzidas sob diferentes doses e estádios de aplicação de Mn foliar, revelados para malato desidrogenase (MDH). Sendo: 1(0, R1), 2(0, R3), 3 (200, R1), 4 (200, R3), 5(400, R1), 6 (400, R3), 7 (600, R1) e 8 (600 g Mn ha <sup>-1</sup> em R3).....	90
Figura 17	Padrões enzimáticos de sementes de soja das cultivares Baliza RR e Celeste, Silvânia RR e Jataí produzidas sob diferentes doses e estádios de aplicação de Mn foliar, revelados para álcool desidrogenase (ADH). Sendo: 1(0, R1), 2(0, R3), 3 (200, R1), 4 (200, R3), 5(400, R1), 6 (400, R3), 7 (600, R1) e 8 (600 g Mn ha <sup>-1</sup> em R3).....	92
Figura 18	Padrões enzimáticos de sementes de soja das cultivares Baliza RR e Celeste, Silvânia RR e Jataí produzidas sob diferentes doses e estádios de aplicação de Mn foliar, revelados para superóxido dismutase (SOD). Sendo: 1(0, R1), 2(0, R3), 3 (200, R1), 4 (200, R3), 5(400, R1), 6 (400, R3), 7 (600, R1) e 8 (600 g Mn ha <sup>-1</sup> em R3).....	93
Figura 19	Padrões enzimáticos de sementes de soja das cultivares Baliza RR e Celeste, Silvânia RR e Jataí produzidas sob diferentes doses e estádios de aplicação de Mn foliar, revelados para peroxidase (PRX). Sendo: 1(0, R1), 2(0, R3), 3 (200, R1), 4 (200, R3), 5(400, R1), 6 (400, R3), 7 (600, R1) e 8 (600 g Mn ha <sup>-1</sup> em R3).....	95
Figura 20	Padrões enzimáticos de sementes de soja das cultivares Baliza RR e Celeste, Silvânia RR e Jataí produzidas sob diferentes doses e estádios de aplicação de Mn foliar, revelados para isocitrato liase (ICL). Sendo: 1(0, R1), 2(0, R3), 3 (200, R1), 4 (200, R3), 5(400, R1), 6 (400, R3), 7 (600, R1) e 8 (600 g Mn ha <sup>-1</sup> em R3).....	97
Figura 21	Equação de regressão para germinação de sementes de soja, porcentagem de plântulas normais aos 5 dias, após o armazenamento, em função de doses de Mn foliar aplicadas às plantas produtoras em diferentes estádios de desenvolvimento. *significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.....	101
Figura 22	Equação de regressão para incidência de <i>Fusarium</i> spp. em sementes de soja após o armazenamento, em função de doses de Mn foliar aplicadas às plantas produtoras em diferentes estádios e cultivares. *significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, ** transformados em $\sqrt{x+1}$ .....	107
Figura 23	Equação de regressão para incidência de <i>Aspergillus</i> spp. em sementes de soja após o armazenamento, em função de doses de Mn foliar aplicadas às plantas produtoras de diferentes cultivares no estágio R <sub>3</sub> . *significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, ** transformados em $\sqrt{x+1}$ .....	110

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Resultados das análises químicas e físicas de solo das amostras coletadas (0,00 - 0,20 m) na área experimental do Departamento de Agricultura da UFLA em Lavras, MG .....	41
Tabela 2	Número de legumes por planta de cultivares de soja nas diferentes doses de Mn aplicado via foliar .....	55
Tabela 3	Peso de mil sementes de diferentes cultivares de soja.....	56
Tabela 4	Produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de cultivares de soja em função dos estádios de aplicação e doses de Mn foliar .....	61
Tabela 5	Porcentagem de germinação de sementes de diferentes cultivares de soja.....	64
Tabela 6	Porcentagem de germinação de sementes após o envelhecimento acelerado de diferentes cultivares de soja.....	66
Tabela 7	Índice de velocidade de emergência (IVE) de plântulas de diferentes cultivares de soja, em função dos estádios e doses de Mn foliar aplicadas às plantas produtoras de sementes .....	69
Tabela 8	Condutividade elétrica ( $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ ) de sementes de cultivares de soja nas diferentes doses de Mn foliar .....	72
Tabela 9	Porcentagem de danos mecânicos nas sementes de cultivares de soja nas diferentes doses de Mn foliar, verificados no teste de tetrazólio .....	76
Tabela 10	Incidência (%) de <i>Fusarium</i> spp. em sementes de cultivares de soja nas diferentes doses de Mn foliar .....	80
Tabela 11	Teor médio de manganês (ppm) em sementes de diferentes cultivares de soja oriundas de plantas que receberam doses de Mn, via aplicação foliar .....	84
Tabela 12	Teor médio de lignina no tegumento (g%) de sementes de diferentes cultivares de soja .....	85
Tabela 13	Índice de velocidade de emergência (IVE) de plântulas de cultivares de soja, após o armazenamento das sementes.....	103
Tabela 14	Condutividade elétrica ( $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ ) de sementes de cultivares de soja produzidas com aplicação de Mn foliar em diferentes estádios, após o armazenamento.....	104
Tabela 15	Incidência (%) de <i>Cercospora kikuchii</i> (Cer.), <i>Phomopsis</i> sp. (Pho.) e <i>Penicillium</i> spp. (Pen.) em sementes de diferentes cultivares de soja, após o armazenamento.....	105
Tabela 16	Incidência (%) de <i>Fusarium</i> spp. em sementes de diferentes cultivares de soja em função dos estádios de aplicação e doses de Mn foliar, após o armazenamento.....	108
Tabela 17	Incidência (%) de <i>Aspergillus</i> spp. em sementes de diferentes cultivares de soja em função dos estádios de aplicação e doses de Mn foliar, após o armazenamento.....	111

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	16
<b>2.1</b>	<b>A cultura da soja no Brasil</b> .....	16
<b>2.2</b>	<b>Qualidade de sementes de soja</b> .....	17
<b>2.3</b>	<b>Elementos minerais e qualidade de sementes</b> .....	20
<b>2.4</b>	<b>Manganês</b> .....	22
<b>2.4.1</b>	<b>Manganês e atividade enzimática</b> .....	24
<b>2.4.2</b>	<b>Manganês e a soja transgênica RR</b> .....	26
<b>2.5</b>	<b>Teor de lignina em soja RR e convencional</b> .....	29
<b>2.6</b>	<b>Armazenamento de sementes</b> .....	37
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	39
<b>3.1</b>	<b>Caracterização da área experimental</b> .....	39
<b>3.2</b>	<b>Instalação e condução do experimento</b> .....	42
<b>3.3</b>	<b>Avaliações</b> .....	44
<b>3.3.1</b>	<b>Características agronômicas</b> .....	44
<b>3.3.2</b>	<b>Qualidade das sementes antes do armazenamento</b> .....	45
<b>3.3.3</b>	<b>Composição química das sementes</b> .....	47
<b>3.3.4</b>	<b>Atividade enzimática</b> .....	49
<b>3.3.5</b>	<b>Qualidade das sementes após armazenamento</b> .....	50
<b>3.4</b>	<b>Delineamento experimental e análises estatísticas</b> .....	52
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	53
<b>4.1</b>	<b>Características agronômicas</b> .....	53
<b>4.2</b>	<b>Qualidade das sementes antes do armazenamento</b> .....	62
<b>4.3</b>	<b>Composição química das sementes</b> .....	82
<b>4.4</b>	<b>Atividades enzimáticas</b> .....	88
<b>4.5</b>	<b>Qualidade das sementes após armazenamento</b> .....	98
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	113
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	116
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	117
	<b>ANEXO</b> .....	132

## 1 INTRODUÇÃO

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é uma das principais culturas no Brasil, sendo explorada em uma extensa área. Nos últimos anos, a cultura da soja tornou-se relevante fonte de divisas para a nação, sendo cultivada em 27,35 milhões de hectares em 2012/13 (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2013). Um dos principais fatores para o êxito nesta cultura é a adoção de novas tecnologias, muitas destas veiculadas por meio das sementes, fazendo com que a alta qualidade das mesmas seja cada vez mais requerida, valorizada e incentivada.

O mercado nacional de sementes de soja é expressivo, estima-se que este negócio ultrapasse a R\$ 1,4 bilhão por ano, com uma taxa de utilização de sementes de 64% (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE SEMENTES E MUDAS - ABRASEM, 2011a; ABRASEM, 2011b), indicando assim o potencial do mercado de sementes de soja a ser explorado.

Um fator limitante à obtenção de altas produtividades é a qualidade das sementes utilizadas, condicionando a expansão da cultura à implantação de programas de produção de sementes de elevada qualidade. A qualidade das sementes é a soma de atributos físicos, fisiológicos, genéticos e sanitários que podem ser afetados por diversos fatores, dentre eles, o material genético, que pode apresentar distintos teores de lignina no tegumento das sementes de soja, e também a fertilidade do solo e nutrição mineral das plantas produtoras de sementes.

O tegumento é um dos condicionantes da germinação, vigor e longevidade das sementes. Características do mesmo podem estar associadas à susceptibilidade aos danos mecânicos, longevidade e potencial de deterioração das sementes, que podem ser influenciados pelo teor de lignina. O efeito regulador do tegumento sobre a difusão de água tem sido estudado por vários

pesquisadores, mas o mecanismo que restringe a absorção de água pela semente de soja ainda não foi completamente determinado. Em alguns trabalhos tem sido demonstrada relação direta entre a resistência ao dano mecânico e os teores de lignina no tegumento de sementes de soja, relacionando-se à resposta diferencial entre cultivares e, por conseguinte associados também à qualidade das sementes. A relação entre o teor de lignina nas sementes de soja com a qualidade fisiológica e sanitária das mesmas não está devidamente esclarecida, pois não há consenso nos trabalhos, necessitando assim de pesquisas adicionais.

Paralelamente a isto, se têm levantado a hipótese de que cultivares de soja transgênicas RR (Roundup Ready, evento GTS 40-3-2) possuem teores de lignina superiores às convencionais. Tal suspeita se baseia no fato de a alteração genética RR estar relacionada ao ciclo do ácido chiquímico, o mesmo utilizado pela planta para produção de lignina. Porém, os resultados ainda são inconclusivos, visto que algumas informações não foram baseadas em estudos entre cultivares essencialmente derivadas.

Em se tratando de fertilidade do solo e nutrição mineral de plantas, de modo geral, sabe-se que as plantas quando bem nutridas têm a capacidade de produzir maior volume de sementes e com melhor qualidade. A disponibilidade de nutrientes influencia diversos processos desde a formação do embrião até a composição química das sementes, tendo efeitos na germinação e no vigor. Dentre os nutrientes, o manganês (Mn) é relevante, pois está associado à síntese de clorofila e principalmente à ativação enzimática, dentre elas, as enzimas relacionadas à formação da lignina presente na parede celular, a qual confere maior impermeabilidade e resistência ao tegumento, podendo assim influenciar na qualidade das sementes de soja. Na literatura, os resultados são ainda discrepantes quanto à ação do Mn na qualidade de sementes de soja, porém, é importante ressaltar que o número de trabalhos é limitado.

Existem também relatos de que as plantas de soja RR são menos eficientes no acúmulo de Mn do que as convencionais, por isso seriam mais responsivas à utilização deste micronutriente. Todavia, em estudos adicionais os resultados são ainda contrastantes e inconclusivos, por isso a necessidade de pesquisas complementares, devido ao volume e importância da soja RR no Brasil e no mundo.

Diante do exposto, o objetivo nesta pesquisa foi avaliar o efeito da aplicação foliar de manganês nas características agronômicas da planta e na composição química (Mn e lignina), atividade enzimática e qualidade das sementes de soja, em cultivares convencionais e em suas derivadas transgênicas RR.



## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 A cultura da soja no Brasil**

O crescimento na produção de soja no Brasil é estimulado pelo aumento da demanda do grão, que em média contém 40% de proteína e 20% de óleo, caracterizando assim uma excelente fonte de proteína e energia para utilização na alimentação humana e animal, além da manufatura de diversos produtos e matéria prima para biocombustíveis.

O Brasil aumentou sua participação no mercado internacional, destacando-se como grande produtor e exportador de soja. A soja é uma das principais fontes de divisas para o Brasil no setor agrícola, sendo a cultura que ocupa a maior área. Na safra 2012/13 a área cultivada com soja foi 27,35 milhões de hectares e estima-se 82,68 milhões de toneladas produzidas, com produtividade média 3023 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2013).

Os principais fatores que alavancam a soja no país estão ligados à adoção de novas tecnologias pelos agricultores, sejam elas, na alta qualidade da semente utilizada, manejo da fertilidade do solo, material genético, transgenia, manejo de pragas e doenças, na mecanização, entre outras. Algumas das tecnologias são veiculadas por meio das sementes, caracterizando-se assim como um dos principais insumos, por isso a qualidade das mesmas está cada vez mais requerida e valorizada.

O mercado de sementes de soja é expressivo, visto o volume produzido e comercializado no país, estima-se que este valor supere R\$ 1,4 bilhão por ano. No Brasil o volume produzido de sementes no ano de 2008/09 foi 1,29 milhão de toneladas, em 2009/10 foi 1,56 milhão de toneladas, com uma taxa de utilização de sementes de 64% (ABRASEM, 2011a; ABRASEM, 2011b),

demonstrando o potencial do mercado a ser explorado, visando o aumento na taxa de utilização de sementes aliado à alta qualidade.

## **2.2 Qualidade de sementes de soja**

A qualidade fisiológica das sementes é afetada por vários fatores, desde a fecundação até o momento da semeadura, como: genótipo, condições ambientais durante o desenvolvimento das sementes, fertilidade do solo e nutrição mineral, posição da semente na planta mãe, época e técnicas de colheita, condições de armazenamento e tratamentos pré-semeadura (BASU, 1995). No processo de produção de sementes, todas as etapas envolvidas são relevantes para se obter um material de alta qualidade.

A exposição alternada das sementes a chuva e a seca, principalmente durante o período pós-maturidade fisiológica, provocam expansões e retrações do tegumento, proporcionando a desestruturação dos sistemas de membranas e conseqüentemente maior permeabilidade (DOMENE, 1992), o que aumenta de forma diferenciada a deterioração de sementes (DELOUCHE, 1975). A perda de qualidade no campo é frequente, o que tem motivado pesquisadores a enfatizar a possibilidade do uso da semente que possua o tegumento com determinado grau de impermeabilidade (HARTWIG; POTTS, 1987; PESKE; PEREIRA, 1983).

Peske e Pereira (1983) relataram que o tegumento da semente de soja tem importante papel no controle da absorção de água e proteção contra microrganismos, além de funcionar como suporte mecânico.

A simples indicação da porcentagem de germinação, pureza e vigor de um lote de sementes não são suficientes para caracterizar a sua qualidade. A condição sanitária também é importante, considerando-se que as sementes são veículos de agentes fitopatogênicos. A maioria das doenças de importância econômica que ocorre na cultura da soja é causada por patógenos que são

transmitidos pelas sementes (GOULART, 1997), dentre estes, os fungos são considerados os mais importantes, não somente devido ao maior número, mas também pelos prejuízos causados tanto no rendimento quanto na qualidade de sementes. Na cultura da soja, existem diversos fungos que causam prejuízos à qualidade das sementes, dentre estes, se destacam *Phomopsis* spp., *Fusarium* spp., *Cercospora kikuchii* e *Colletotrichum truncatum* (GOULART, 1997; GOULART et al., 1999; HENNING; YUYAMA, 1999; MERTZ; HENNING; ZIMMER, 2009).

Em regiões tropicais é comum o excesso de chuvas associado à ocorrência de altas temperaturas durante a fase final de maturação da soja, ocasionando sérios danos à produção de sementes, pois proporciona altos índices de infecção que estão relacionados à baixa qualidade sanitária e fisiológica (COSTA et al., 2003; PEREIRA; PEREIRA; FRAGA, 2000). Muitos fitopatógenos, na maioria fungos, podem estar associados às sementes afetando a germinação e vigor, acarretando em reduções na emergência e na produtividade (BRINGEL et al., 2001; HAMAWAKI et al., 2002).

A sanidade das sementes de soja é importante, tanto que em programas de melhoramento existe a preocupação em selecionar genótipos cujas sementes apresentam menores incidências fitopatogênicas (HAMAWAKI et al., 2002; VASCONCELOS et al., 2008). Desta forma, a qualidade de sementes de soja é em grande parte afetada pela constituição genética e nos últimos anos, nos programas de melhoramento genético há o cuidado em desenvolver materiais com características desejáveis quanto à resistência a doenças e pragas, teores de óleo, de proteína e de lignina nas sementes (COSTA et al., 2001).

Segundo França Neto e Krzyzanowski (2003), alguns testes e metodologias já estão sendo utilizados em programas de melhoramento genético para a avaliação da qualidade das sementes de soja, a exemplo do método modificado do envelhecimento acelerado, retardamento de colheita e a

determinação do conteúdo de lignina no tegumento. A seleção de genótipos cujas sementes apresentam elevados teores de lignina no tegumento remete a materiais com maiores resistências aos danos mecânicos (CAPELETI et al., 2005).

A qualidade de semente de soja é um fator limitante à sua produção, motivo pelo qual a expansão da cultura nas regiões Central, Norte e Nordeste do Brasil, vêm sendo condicionada à implantação de programas de produção de sementes de elevada qualidade (FRANÇA NETO; KRZYZANOWSKI, 2003). Campos cultivados com sementes de soja de alto vigor tendem a apresentar melhores índices produtivos (KOLCHINSKI; SCHUCH; PESKE, 2005).

Neste sentido, Vanzolini e Carvalho (2002) trabalhando com nove lotes de sementes de soja, M-Soy 109, classificados em alto, médio e baixo vigor, constataram que lotes de menor vigor tiveram quedas mais acentuadas no estande e que as sementes mais vigorosas proporcionaram maiores comprimentos das raízes primárias e total das plântulas.

Condições ambientais adversas por ocasião da semeadura aliadas à semente de baixa qualidade pode resultar em menores porcentagens de germinação e velocidade de emergência das plântulas. Por outro lado, germinação mais rápida e uniforme é observada em sementes de alto vigor, além da capacidade de melhor suportar as adversidades do local (LOPES et al., 2002).

Kolchinski, Schuch e Peske (2006) constataram que plantas provenientes de sementes de alto vigor apresentaram maior área foliar e maior taxa de crescimento a partir dos 21 dias após emergência.

Sementes de alto vigor apresentam maior velocidade nos processos metabólicos, proporcionando emissão mais rápida e uniforme da raiz primária no processo de germinação e maior taxa de crescimento (MINUZZI et al., 2010; SCHUCH; NEDEL; ASSIS, 1999). Estes resultados corroboram com os obtidos por Scheeren et al. (2010), os quais verificaram que as plantas provenientes de

sementes de soja de elevado vigor apresentaram maior altura até 75 dias após a semeadura e que a produtividade por área dos lotes de alto vigor pode ser 9% superior aos de baixo vigor, confirmando a relevância da utilização de sementes com alta qualidade.

### **2.3 Elementos minerais e qualidade de sementes**

A disponibilidade de nutrientes para as plantas produtoras de sementes influencia na sua produção e qualidade, afetando a formação do embrião e dos órgãos de reserva, assim como a composição química e, conseqüentemente, o metabolismo e o vigor das sementes (CARVALHO; NAKAGAWA, 2000).

Além disto, uma adubação adequada pode evitar algumas anomalias no desenvolvimento das plântulas, que são as manifestações mais comuns decorrentes das deficiências minerais (WIRIGLYR; DU CROS; MOSS, 1984). Deficiências de nutrientes geralmente exercem efeitos indiretos na produção de sementes, pelo decréscimo no crescimento e desenvolvimento da planta produtora, resultando em sementes com viabilidade e vigor reduzidos (RENGEL; GRAHAM, 1995).

Apesar da importância da nutrição mineral no rendimento e na qualidade fisiológica das sementes, estudos neste contexto são escassos, de modo que a recomendação de fertilizantes para a implantação de culturas destinadas à produção de sementes é geralmente semelhante àquela utilizada para a produção de grãos (CARVALHO; NAKAGAWA, 2000). Na maioria das vezes estas recomendações enfatizam o efeito da adubação sobre a produtividade, não correlacionando com a qualidade das sementes.

A nutrição mineral adequada favorece o desenvolvimento das plantas, levando-as a produzirem metabólitos necessários ao desenvolvimento de frutos e sementes. Quanto às sementes, é necessário que o acúmulo de reservas seja feito

adequadamente, pois o desenvolvimento inicial das plântulas depende destas substâncias (VEIGA et al., 2010). Embora insuficientes na literatura, existem relatos que a qualidade e a quantidade dos nutrientes utilizados na adubação podem influenciar a qualidade fisiológica das sementes. A exemplo de Ascoli, Soratto e Maruyama (2008), que com o objetivo de avaliar a aplicação de molibdênio (Mo), por via foliar, na produtividade e qualidade fisiológica de sementes do feijoeiro, constataram que a aplicação de Mo elevou a produtividade e proporcionou a obtenção de sementes que originaram plântulas com maior desenvolvimento inicial, além de uma maior germinação.

Veiga et al. (2010) trabalhando com sementes da cultivar de soja Msoy 8001, produzidas sob 2 níveis de saturação por base (48% e 85%) e quatro doses de  $K_2O$  (0, 50, 100 e 200 kg ha<sup>-1</sup>), verificaram que a elevação da saturação por base proporcionou maior vigor de sementes, ao passo que para adubação potássica isto não foi observado. Relataram também que o aumento da dose de  $K_2O$  incrementou o teor de óleo e reduziu o teor de proteína e que as atividades das isoenzimas piruvato quinase, esterase e álcool desidrogenase em sementes de soja foram afetadas pela concentração de potássio e saturação por base no solo.

Mondo et al. (2012) em trabalho com soja, constataram que a correlação fertilidade do solo e potencial fisiológico da semente é relevante para a tecnologia de semente. Todavia, os resultados publicados são ainda contraditórios, demonstrando assim a importância de estudos que relacionem nutrição mineral à qualidade de sementes, com qualquer que seja a cultura, a exemplo: Imolesi et al. (2001) com milho, Átila et al. (2004) com canola, Toledo et al. (2009) com feijão e Mann et al. (2002), Melarato et al. (2002), Milani et al. (2010), Mondo et al. (2012), Possenti e Villela (2010) e Veiga et al. (2010) com soja.

## 2.4 Manganês

O manganês (Mn) desempenha papel fundamental na alongação celular e sua deficiência pode inibir a síntese de lipídeos ou metabólitos secundários, como o ácido giberélico e os isoprenoides (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). O Mn também é essencial à síntese de clorofila e sua função principal está relacionada com a ativação de enzimas (DECHEN; NACHTIGALL, 2006).

A deficiência de micronutrientes, especialmente a de Mn e Zn, pode reduzir a atividade metabólica devido à demanda em processos fisiológicos, como componentes de enzimas essenciais e também comprometer a manutenção estrutural e a integridade funcional das membranas (RÖMHELD; MARSCHNER, 1991).

O Mn desempenha um papel importante nos processos redox, tais como no transporte de elétrons na fotossíntese e na desintoxicação de radicais livres de oxigênio (RAYCHAUDHURI, 2000).

A função mais bem estudada do Mn em plantas é a sua participação, juntamente com o cloro, na evolução do O<sub>2</sub> no processo fotossintético (quebra fotoquímica da água no fotossistema II, FS II), na reação de Hill (FAQUIN, 2005). Durante a oxidação da água os elétrons são liberados pela enzima que quebra a água, enzima esta que contém quatro íons de Mn, sendo esses elétrons transferidos para o FS II (KIRKBY; RÖMHELD, 2007; MALAVOLTA, 2006).

O Mn atua também como importante cofator para várias enzimas chave na biossíntese dos metabólitos secundários da planta, associados com a via do ácido chiquímico, incluindo aminoácidos aromáticos, fenólicos, cumarinas, ligninas e flavonoide (BURNELL, 1988). Baixas concentrações de compostos fenólicos, ligninas e flavonoide foram detectadas em tecidos deficientes em Mn (GRAHAM, 1983).

O Mn está relacionado à formação da lignina (MARSCHNER, 1995), que, por sua vez, é uma das substâncias presentes na parede celular, à qual confere menor permeabilidade (MCDOUGALL et al., 1996). Pode assim exercer efeito significativo sobre a velocidade de absorção de água através do tegumento e na quantidade de lixiviados liberados para o meio externo durante a fase de embebição do processo de germinação. Panobianco et al. (1999) constataram em sementes de soja com baixo teor de lignina no tegumento, valores mais altos de condutividade elétrica devido à maior quantidade de substâncias lixiviadas.

O processo de lignificação é afetado pelo Mn, pois o micronutriente ativa a sintetase de desoxi-D-arabino heptulosanato-7-P, ligado a via do ácido chiquímico, resultando na produção de lignina, a qual constitui barreira física à entrada de patógenos. Associa-se a polimerização de alcoóis e a lignificação, pois é cofator da liase de fenilalamina e amônia que estão ligadas à produção de ácido cinâmico e conseqüentemente à lignina (MALAVOLTA, 2006).

O transporte do Mn na planta, à longa distância se dá via xilema, cujo nutriente está presente principalmente como  $Mn^{2+}$  em equilíbrio com os compostos orgânicos pouco estáveis. Transloca-se livremente na corrente transpiratória e, quando o suprimento é adequado, se acumula nas raízes, caules e folhas sendo classificado usualmente como “imóvel no floema”, entretanto, movem-se para as sementes em desenvolvimento, mas, ao que parece, não para as raízes (MALAVOLTA, 2006).

Em trabalho avaliando a influência de diferentes fontes e modos de aplicação de Mn, via solo e foliar, com duas aplicações dos tratamentos via foliar nos estádios  $V_4$  e  $R_1$ , sobre o potencial fisiológico das sementes de soja e a massa de mil sementes, Melarato et al. (2002) concluíram que a aplicação de Mn exerceu influência positiva sobre a massa das sementes de soja produzidas e que o estado nutricional das plantas, em relação ao Mn, não influenciou o potencial fisiológico das sementes. Já Mann et al. (2002) no intuito de avaliar a influência



da aplicação de Mn na folha (V<sub>4</sub>, V<sub>8</sub> e V<sub>10</sub>) e no solo sobre o rendimento e a qualidade de sementes de soja, cultivares Conquista e Garimpo, verificaram aumentos na produtividade, germinação, vigor, teores de proteína e óleo das sementes e no teor de Mn na planta, nas duas formas de aplicação do Mn, com maior grau de eficiência da aplicação foliar.

Com o objetivo de avaliar as correlações entre atributos químicos do solo e potencial fisiológico de sementes de soja, Mondo et al. (2012) realizaram amostragens de solo e sementes, em pontos georreferenciados, para análise da fertilidade do solo e potencial fisiológico de sementes. Os autores observaram para germinação correlação negativa com o Mn, ao passo que a produtividade foi influenciada positivamente.

#### **2.4.1 Manganês e atividade enzimática**

Uma das funções do Mn é a ativação enzimática (DECHEN; NACHTIGALL, 2006). Este micronutriente é relevante nos processos redox, como a desintoxicação de radicais livres de oxigênio (RAYCHAUDHURI, 2000). Sistemas estes importantes no processo de desintoxicação celular, para evitar danos oxidativos, pois converte os produtos potencialmente perigosos das espécies reativas de oxigênio (EROs). Estes sistemas enzimáticos são capazes de remover, neutralizar ou limpar as EROs do interior das células. Dentre estas enzimas antioxidantes estão a superóxido dismutase (SOD) e a peroxidase (PRX).

Segundo Nkang, Omokaro e Egbe (2000) enzimas removedoras de radicais livres podem reduzir os produtos tóxicos resultantes do ataque de radicais livres antes que os danos possam ocorrer. Altas concentrações de espécies reativas de oxigênio causam danos oxidativos em proteínas, lipídeos e ácidos nucléicos, caracterizando o estresse oxidativo secundário (BEN AMOR et

al., 2005). As plantas respondem ao acréscimo das EROs com aceleração dos processos antioxidantes enzimáticos e não enzimáticos (ALSCHER; ERTURK; HEALTH, 2002). Para evitar os danos oxidativos, a concentração das EROs é mantida em níveis não tóxicos por meio destes mecanismos antioxidantes (MOLLER; JENSEN; HANSSON, 2007).

A superóxido dismutase (SOD) é uma enzima oxidorreductase e pode ligar-se a um composto metálico, sendo encontrada em três diferentes formas de acordo com o componente metálico associado. Assim existem SODs contendo cobre e zinco (Cu/Zn-SOD), manganês (Mn-SOD) ou ferro (Fe-SOD) (RICE-EVANS; DIPLOCK; SYMONS, 1991).

Poucas enzimas contêm Mn na sua estrutura, dentre elas tem-se a superóxido dismutase (Mn-SOD), que atua na neutralização de superóxidos (RAYCHAUDHURI, 2000), e, portanto, protege membranas e proteínas contra a oxidação. As Mn-SODs não exercem suas funções na ausência do átomo de Mn no seu sítio ativo (ALSCHER; ERTURK; HEALTH, 2002). A SOD catalisa a conversão de radicais livres de  $O_2^-$  a  $H_2O_2$  e  $O_2$  (MAGALHÃES, 2002). Cataneo et al. (2005) verificaram que a SOD tem ação contra o estresse oxidativo induzido pelo herbicida oxyfluorfen em plantas de soja.

O Mn é cofator de peroxidases (MALAVOLTA, 2006). Um dos mecanismos enzimáticos de defesa ao estresse é a oxidação do  $Mn^{+2}$  a  $Mn^{+3}$  *in vivo*, que visa à paralisação dos radicais livres. Existem algumas hipóteses, entre elas, é por meio do sistema de peroxidase (PRX), que pode causar oxidação enzimática do Mn do estado divalente ou trivalente, pelo mecanismo  $H_2O_2 + 2 H^+ + 2 Mn^{2+} \rightarrow 2 Mn^{3+} + 2 H_2O$  (HEWITT; NICHOLAS, 1963).

Neste sentido, Magalhães (2002) trabalhando com atividade enzimática em plantas de soja, verificou que aumentos no nível de Mn no substrato podem provocar incrementos na atividade de oxidase do ácido indolacético e

peroxidase, principalmente em plantas com toxidez, porém, o mesmo não foi observado para superóxido dismutase.

#### **2.4.2 Manganês e a soja transgênica RR**

O cultivo da soja transgênica RR (Roundup Ready®, Evento GTS 40-3-2) vem crescendo a cada ano e a sua relação com o Mn é ainda questionada. Huber et al. (2004) relataram que os genótipos de soja RR foram menos eficientes na absorção de Mn e tiveram menor concentração de Mn no tecido foliar em comparação às cultivares convencionais, no entanto, os dados apresentados para esta afirmação foram insuficientes. Huber (2007) relatou a necessidade de maior aplicação de Mn para atender as necessidades de cultivares RR em relação às convencionais.

Existem algumas explicações teóricas que podem sustentar estas alegações, que geralmente estão na direção de dois mecanismos gerais: (i) interação direta ou indireta entre glifosato e Mn, ou, (ii) diminuição na absorção e translocação de Mn resultante da alteração genética (LOECKER et al., 2010).

Em relação à interação direta ou indireta entre glifosato e Mn, alguns autores sugerem que o glifosato pode reduzir a disponibilidade de Mn diretamente por meio da formação de complexos insolúveis glifosato Mn (BERNARDS et al., 2005), ou aumento de oxidação do Mn (II) na presença de glifosato (BARRETT; MCBRIDE, 2005).

Bott et al. (2008) trabalhando com a cultivar Conquista e sua isolinha Valiosa RR, com e sem aplicação de glifosato, verificaram que a aplicação de glifosato pode exercer efeito negativo no crescimento da planta e no estado nutricional (micronutrientes), a expressão diferencial destes efeitos em distintos solos e em hidroponia sugere uma inter-relação com fatores ambientais. Isto torna necessário o desenvolvimento de estratégias para evitar estes efeitos e

também investigar os fatores responsáveis, os mecanismos subjacentes de ação e seu grau de expressão em condições de campo.

Nesta mesma linha Zobiolo et al. (2010b) trabalharam com manejos do herbicida glifosato, ausência de aplicação nas transgênicas RR e nas isolinhas convencionais, duas aplicações sequenciais e uma aplicação do herbicida. Relataram que as isolinhas convencionais e as transgênicas RR sem aplicação de glifosato, geralmente têm concentrações mais elevadas de macro e micronutrientes no tecido do que as tratadas com glifosato, sendo o Mn um dos mais afetados. Observaram também diferenças nas concentrações dos nutrientes entre as isolinhas convencionais, mais altas, e as transgênicas RR sem aplicação de glifosato, porém, em menor frequência e menos proeminentes. Concluíram que o estado nutricional da soja RR é fortemente afetado pelo glifosato e que as recomendações nutricionais para os cultivos RR devem considerar a eficiência nutricional reduzida imposta pela presença do gene RR, bem como o impacto adicional do glifosato sobre a eficiência nutricional.

Entretanto, Correia e Durigan (2009) em experimento envolvendo manejos de plantas daninhas e doses de Mn foliar na soja concluíram que o glifosato não prejudicou a absorção ou o metabolismo do micronutriente.

Isto corrobora com Rosolem et al. (2010), que também no intuito de verificar a interação glifosato e Mn, observaram que em condições controladas não foram encontradas evidências de efeitos negativos do glifosato na absorção, acúmulo e distribuição do Mn na soja RR e na resposta da planta a este elemento.

Stefanello et al. (2011) trabalhando com a ausência e a aplicação de doses de glifosato em soja RR, aliadas às doses de Mn via foliar, observaram que a aplicação de glifosato na soja transgênica RR não apresentou efeito nos teores foliares de nutrientes, inclusive na absorção de Mn. Em trabalho similar, Basso et al. (2011) concluíram que a aplicação de glifosato na cultura da soja

não afeta a absorção e os teores foliares de Mn e que em solos com teores de Mn acima do suficiente a aplicação do herbicida glifosato não requer a suplementação foliar de Mn em soja RR.

Quanto a diminuição na absorção e translocação de Mn resultante da alteração genética RR, Gordon (2007) avaliando adubações de Mn em soja RR e convencional no Kansas, em solo com pH 7,0, com sulfato de Mn granular, aplicado em faixas ao lado da linha de plantio, mostrou que a cultivar convencional KS 4202 apresentou produção superior que a sua isolinha resistente ao glifosato, KS 4202 RR, na ausência de Mn. Porém, com adições crescentes de Mn a soja RR respondeu favoravelmente à aplicação, enquanto a cultivar convencional apresentou queda de produtividade nas doses mais elevadas. No estágio de pleno florescimento, na condição sem Mn, observou-se que o teor foliar de Mn na soja RR era menos do que a metade do observado na cultivar convencional. Constatou também, que na soja RR, além de corrigir os sintomas de deficiência, adubação de plantio combinada com aplicação de quelato de Mn via foliar no estágio V<sub>4</sub>, assim como, três aplicações foliares nos estádios V<sub>4</sub>, V<sub>8</sub> e R<sub>2</sub>, maximizaram sua produção. Estes resultados indicam a possibilidade da soja RR, utilizada nos estudos, não acumularem Mn da mesma maneira que a convencional. O que evidencia a importância da nutrição mineral das plantas quanto ao Mn, principalmente se tratando de soja transgênica RR.

Loecker et al. (2010) trabalhando com dois pares de cultivares, convencional e sua derivada transgênica RR, e Mn aplicado ao solo e foliar (R<sub>1</sub>), observaram respostas à aplicação em três dos cinco locais dos experimentos, sendo que em dois, a produção de grãos aumentou em 275 e 800 kg ha<sup>-1</sup> na cultivar RR ao passo que em sua isolinha convencional o aumento não foi observado, no outro local isto não foi constatado. Concluíram que a resposta da soja à aplicação de Mn foi influenciada pelo genótipo e que as respostas dos materiais convencionas e RR (isolinhas) não foram sempre as mesmas.

Entretanto, resistência ao glifosato (RR) não resultou conclusivamente em deficiência de Mn ou maior resposta à aplicação e que nem todos os pares de isolinhas (convencional e RR) vão responder da mesma forma, indicando a necessidade de trabalhos adicionais para confirmar esta observação.

Andrade e Rosolem (2011) com o objetivo de testar o efeito da introdução do gene e também da aplicação do herbicida glifosato na planta transgênica (RR) sobre a absorção e o transporte de Mn na planta, conduziram um trabalho onde foram utilizadas as cultivares de soja convencional Conquista e sua derivada transgênica Valiosa RR, sem aplicação de glifosato, além da mesma com aplicação do herbicida. Constataram que mesmo sendo responsável pela redução da massa de matéria seca radicular, o glifosato não ocasiona efeito depressivo na absorção e no transporte de Mn na planta de soja RR, e que a inclusão do gene de resistência ao glifosato não afeta a nutrição com Mn na cultivar Valiosa RR, bem como não interfere na produção de matéria seca da planta.

Por estes resultados discrepantes, de forma geral, observa-se que embora a resposta da soja ao Mn possa ser influenciada pelo genótipo, nem a absorção de Mn, tão pouco a capacidade de resposta ao micronutriente foi conclusivamente afetada pela tolerância ao glifosato em soja RR, o que indica a necessidade de trabalhos complementares. Aliado a isto, existe a possibilidade da nutrição mineral com Mn afetar o teor de lignina no tegumento e a qualidade das sementes de soja, devido sua relação com a ativação enzimática.

## **2.5 Teor de lignina em soja RR e convencional**

A lignina é um polímero fenólico natural, relevante por conferir menor permeabilidade, resistência mecânica e proteção, presente principalmente nas paredes celulares. Esta substância é um dos constituintes do tegumento das

sementes de soja e por isso pode influenciar a qualidade das mesmas, visto a importância do tegumento para as sementes e as características da lignina.

Em um corte transversal da testa de uma semente de soja, podem ser distinguidas quatro camadas a partir da sua superfície: cutícula, epiderme (células epidérmicas em paliçada ou macroesclerídeos), hipoderme (células em ampulheta, ou células pilares ou osteoesclerídeos) e células parenquimatosas (parênquima lacunoso) (GLORIA; GUERREIRO, 2006). Características da camada de células epidérmicas em paliçada, como composição química, arranjo e substâncias intercelulares, vão influenciar na absorção de água (BACIU-MICLAUS, 1970; DUANGPATRA, 1976).

É interessante salientar que as sementes com testa impermeável apresentam limitações para que o melhoramento genético possa utilizar esta característica, com o intuito de melhorar a qualidade das sementes de soja. Esta característica é governada por três genes maiores (KILEN; HARTWIG, 1978) e sua expressão poderá sofrer interferência de vários fatores ambientais, como a ocorrência de períodos de seca durante o estágio de enchimento de grãos (HILL; WEST; HINSON, 1986) e as condições climáticas durante as fases de maturação e colheita (HARTWIG; POTTS, 1987; MINOR; PASCHAL, 1982).

Agbo et al. (1987) sugeriram que as células em paliçadas são menos permeáveis ao movimento da água do que as células parenquimatosas (subepidérmicas) por estas últimas não possuírem esclerídeos, que são células mortas na maturidade com assimilação de lignina. Assim, a espessura das camadas de células em paliçadas e ampulhetas poderia estar relacionada à embebição da água dentro de um contexto físico e também à resistência mecânica dos tecidos.

A ocorrência de materiais hidrofóbicos na camada de células em paliçadas é que determinaria as diferenças no grau de permeabilidade da testa. A produção de sementes de soja de elevada qualidade pode ser complementada por

algumas características morfológicas da testa, tais como a impermeabilidade à água, a cor e o elevado teor de lignina. De acordo com Esau (1976), a lignina constitui-se uma substância ou mistura de substâncias orgânicas de elevado conteúdo de carbono, mas diferente dos carboidratos, e que se encontra associada à celulose nas paredes de numerosas células. Silva (1981) refere-se à lignina como um polímero, 3-metóxi-fenil-propenol e 3-5-di-metóxi-fenil-propenol, ligados em proporções variadas e em sequência casualizada, originando grande variedade de produtos, o que dificulta a sua exata definição. A lignina também tem sido distinguida como polímeros de fenilpropanoides (MCDUGALL et al., 1996). Sua estrutura química é muito complexa e ainda não muito bem definida, mas o termo lignina tem sido utilizado para designar um grupo de substâncias com unidades (básicas) químicas semelhantes (PANOBIANCO, 1997).

Depois da celulose, a lignina é o polímero vegetal mais abundante, sendo encontrada em maior quantidade na parede celular (60 a 90%). Este polímero é impermeável à água, resistente à pressão e pouco elástico (EGG MENDONÇA, 2001).

Tavares et al. (1987) estudando características estruturais do tegumento de sementes de linhagens de soja, concluíram que o conteúdo total de fibras não está ligado a impermeabilidade porém, ao tipo de fibra, verificaram um acentuado incremento dos valores de lignina nas linhagens com tegumentos impermeáveis (4,69 a 7,70%), diferenciados dos valores 1,80 a 3,18%, encontrados em linhagens com tegumentos permeáveis.

Por McDougall et al. (1996) a impermeabilidade do tegumento conferida pela lignina exerce efeito significativo sobre a capacidade e velocidade de absorção de água por meio deste, interferindo deste modo, na quantidade de líquidos liberados para o meio externo durante a fase de embebição do processo de germinação.



Em cultivares de soja com tegumento menos permeável, pode-se, citar como características gerais, o melhor potencial de conservação, níveis inferiores de infecção por patógenos, maior vigor e viabilidade, além da resistência à reabsorção de umidade após a maturação. A deposição de lignina é importante não só para conferir rigidez e resistência aos tecidos vegetais da planta, tais como caule e folhas, mas também para o tegumento de sementes de soja, proporcionando maior resistência ao dano mecânico (CAPELETI et al., 2005; PANOBIANCO, 1997).

A susceptibilidade do tegumento da semente ao dano mecânico se constitui um fator importante para a qualidade de sementes de soja (CARBONELL, 1991). Autores constataram uma relação direta entre a resistência aos danos mecânicos e os teores de lignina no tegumento de sementes de soja (ALVAREZ, 1994; CAPELETI et al., 2005; CARBONELL; KRZYZANOWSKI, 1995; CARBONELL; KRZYZANOWSKI; KASTER, 1992; TAVARES et al., 1987). Como exemplo, Alvarez (1994) que avaliou lignina no tegumento de sementes de três cultivares de soja e concluiu que o conteúdo de lignina no tegumento das sementes foi mais elevado nas cultivares com maior resistência aos danos mecânicos. O que corrobora com Capeleti et al. (2005), que quantificando a lignina em sementes de 11 cultivares de soja, observaram relação direta entre este fator e a resistência aos danos mecânicos, inferindo que teores de lignina no tegumento acima de 0,4 g% pode ser um indicador de resistência aos danos mecânicos.

Diferenças nos teores de lignina nos tegumentos de sementes de soja têm sido observadas por diversos autores (ALVAREZ, 1994; CAPELETI et al., 2005; CARBONELL; KRZYZANOWSKI, 1995; CARBONELL; KRZYZANOWSKI; KASTER, 1992; GRIS et al., 2010; MENEZES et al., 2009; PANOBIANCO, 1997; TAVARES et al., 1987).

Quanto a associação entre o teor de lignina e a qualidade fisiológica de sementes de soja, alguns autores constataram a relação entre a alta qualidade fisiológica das sementes de soja com o alto teor de lignina presente no tegumento, como Panobianco et al. (1999). Menezes et al. (2009) trabalhando com 6 cultivares de soja, com o cruzamento dessas cultivares ( $F_1$ ) e com a geração  $F_2$ , observaram que os teores de lignina no tegumento das sementes variaram nos híbridos, recíprocos e descendentes. Verificaram também correlações positivas entre o teor de lignina e a porcentagem de plântulas normais no teste de envelhecimento, porém, a correlação entre velocidade de germinação e teor de lignina foi negativa.

Baldoni (2010) avaliando a correlação fenotípica entre o teor de lignina e parâmetros da qualidade das sementes de soja constatou apenas correlação baixa e negativa entre o teor de lignina e a germinação das sementes. Para os demais testes esta correlação não foi significativa, inferindo que não houve correlação entre o teor de lignina e a qualidade fisiológica das sementes de soja.

Dantas (2012), trabalhando também com teor de lignina e sementes de soja, verificou que sementes com baixo teor de lignina obtiveram maior potencial germinativo, mesmo após o armazenamento por até 180 dias em condições controladas de temperatura e umidade. E que o maior teor de lignina em tegumento de sementes de soja não proporcionou maior resistência à penetração dos fungos de armazenamento *Aspergillus flavus* e *Penicillium* sp. Nesta linha, Botelho (2012) constatou na maioria dos testes realizados quanto à qualidade das sementes de soja, melhor desempenho nas cultivares com menores teores de lignina no tegumento (BRS 245 RR e BRS 247 RR) em relação às com maiores teores (BRS Silvânia RR e BRS Valiosa RR), mesmo após o armazenamento. Desta forma, a relação entre teor de lignina e qualidade de sementes de soja ainda não está devidamente esclarecida, necessitando assim de pesquisas suplementares.

Trabalhos são escassos que relacionem a nutrição mineral e o teor de lignina, principalmente em se tratando de tegumento de sementes de soja. Neste sentido, Bellaloui (2012) conduziu um trabalho com o objetivo de investigar os efeitos da aplicação foliar de boro, em R<sub>1</sub>-R<sub>2</sub> ou R<sub>5</sub>-R<sub>6</sub> com ou sem estresse hídrico, sobre os compostos fenólicos (fenol, lignina e isoflavonas) e nas concentrações de açúcares de sementes de soja. Verificou concentrações maiores de fenol e lignina em sementes de soja produzidas sob estresse hídrico. E que a aplicação foliar com B modificou os teores de fenol, lignina, isoflavonas e açúcares, sugerindo que este micronutriente possa estar envolvido no metabolismo destes compostos.

Paralelamente, indagações têm sido geradas em relação aos teores de lignina entre cultivares transgênicas RR (Roundup Ready, Evento GTS 40-3-2) e convencionais (COGHLAN, 1999; GERTZ; VENCILL; HILL, 1999; GRIS et al., 2010; KUIPER et al., 2001; NODARI; DESTRO, 2006; ZONETTI et al., 2011).

Gertz, Vencill e Hill (1999) observaram em soja RR sob temperatura do solo a 20 °C uma maior deposição de lignina (20%), ao passo que sob alta temperatura (45 °C) esta deposição suplementar chegou a 40%. Segundo Coghlan (1999), os teores elevados de lignina depositados no caule das plantas de soja estariam ocasionando rachaduras devido ao enrijecimento das plantas sob altas temperaturas, embora a causa exata do comportamento da lignina neste mecanismo ainda seja desconhecida. O que foi enfatizado por Kuiper et al. (2001), que também relataram a importância dos estudos sobre efeitos inesperados das modificações genéticas. Nodari e Destro (2006) observaram que em condições de seca e temperaturas elevadas as cultivares RR sofreram mais prejuízos do que as convencionais, estudo realizado em nove lavouras de soja no Rio Grande do Sul, os autores observaram ainda um grande número de plantas

com rachaduras no caule de penetrância elevada, possivelmente devido à superprodução de lignina nos materiais RR.

Neste sentido, tem sido levantada a hipótese de que cultivares de soja geneticamente modificada (RR) para tolerância ao herbicida glifosato tem apresentado maiores valores de lignina na planta, quando comparadas às cultivares convencionais. Tal suspeita se baseia no fato de a alteração transgênica RR estar ligada ao ciclo do ácido chiquímico, que é inibido pelo herbicida glifosato em plantas convencionais, o mesmo utilizado pela planta para produção de lignina. A inibição de enzimas enolpiruvilxiquimato-3-fosfato-sintase (EPSPS) presentes nesta via pelo glifosato leva a uma deficiência na produção de aminoácidos e consequente a morte das plantas. Na soja RR ocorre a produção da isoenzima CP4 EPSPS, com a mesma função da EPSPS, porém, tolerante ao glifosato, devido à sequência introduzida no genoma das cultivares RR. Fato este pode estar influenciando a síntese de lignina nas cultivares transgênicas RR (GRIS, 2009; KUIPER et al., 2001).

Zonetti et al. (2011) trabalhando com dois pares, RR e convencional, de cultivares de soja, no intuito de investigar o crescimento e os teores de lignina nas raízes verificaram que a cultivar CD 213RR apresentou altos teores de lignina em comparação à convencional OC 14, ao passo que para as cultivares CD 214RR e CD 201 o mesmo não foi observado. Concluíram que uma forma diferente de EPSPS pode interferir na via de fenilpropanoides e, posteriormente, na síntese de lignina e que outras características genéticas inerentes a cada cultivar podem afetar os conteúdos de lignina nas raízes.

Zobiolo et al. (2010a) conduziram um trabalho com o objetivo de avaliar o efeito de doses crescentes de glifosato, com aplicações únicas e sequenciais, sob a deposição de lignina na planta, conteúdo de aminoácidos, parâmetros de fotossíntese e na biomassa seca da cultivar BRS 242 RR. Observaram que todos

estes parâmetros foram reduzidos pelo aumento das taxas de glifosato aplicado à soja RR, com efeitos mais proeminentes com a aplicação única.

É importante salientar que a maioria destes estudos foi realizada quanto ao processo de lignificação nas plantas, já para as sementes os trabalhos são escassos. Em relação às sementes, têm-se levantado a hipótese de que cultivares de soja RR possuem teores de lignina superiores aos convencionais, o que proporcionaria maior resistência aos danos mecânicos, maior impermeabilidade do tegumento e poderia estar associado à qualidade das sementes.

Gris et al. (2010) conduziram um trabalho com objetivo de avaliar a qualidade fisiológica e o teor de lignina no tegumento das sementes de soja convencionais e em suas derivadas RR, colhidas em três épocas, sendo as cultivares: BRS 133 vs BRS 245 RR, BRS 134 vs BRS 247 RR, Conquista vs Valiosa RR, Celeste vs Baliza RR e Jataí vs Silvânia RR. Os autores constataram que o teor de lignina no tegumento de sementes variou significativamente somente entre as cultivares Jataí (0,3008 g%) vs Silvânia RR (0,4167 g%) e que existe diferenças de comportamento entre as cultivares quanto à tolerância ao retardamento da colheita.

Em relação à qualidade fisiológica das sementes de soja RR e convencional, Carvalho, T. C. et al. (2012) trabalharam com as cultivares CD 206 e CD 206 RR e verificaram que as sementes de soja convencional têm potencial fisiológico superior em relação às da sua derivada transgênica RR. Porém, vale salientar que utilizaram somente um par de RR e convencional.

Observa-se assim a necessidade de trabalhos adicionais, principalmente quanto ao processo de lignificação e qualidade fisiológica de sementes de soja convencional e RR.

Nota-se de forma geral, que o teor de lignina no tegumento das sementes de soja pode estar associado à qualidade fisiológica das mesmas, por restringir a reabsorção de água, principalmente sob condições ambientais desfavoráveis

durante o processo de produção, e ainda, relacionado à redução da incidência de danos mecânicos. A transgenia RR pode influenciar a produção e deposição de lignina, seja na planta ou nas sementes, podendo assim afetar a qualidade das mesmas, mas esclarecimentos adicionais se fazem necessários.

## **2.6 Armazenamento de sementes**

As condições ambientais pré e pós-colheita, entre elas as condições de armazenamento afetam a perda da viabilidade das sementes (HARRINGTON, 1972). Atrasos na colheita em campo de produção de sementes equivalem ao armazenamento das mesmas sob condições ambientais, estas ficam suscetíveis às variações climáticas, temperatura e umidade, ao ataque de insetos e de microrganismos que contribuem para a queda de qualidade (CARVALHO; NAKAGAWA, 2000; GRIS et al., 2010).

A preservação da qualidade das sementes durante o armazenamento, ou seja, da colheita até o momento da semeadura, é um aspecto fundamental a ser considerado no processo produtivo, pois os esforços despendidos na fase de produção podem não ser efetivos se a qualidade das sementes não for mantida até a época de sua utilização (OLIVEIRA et al., 1999). A partir do momento que as sementes são armazenadas, a preservação da qualidade fica na dependência do potencial fisiológico inicial e das condições de armazenamento.

Durante o armazenamento diversos fatores influenciam diretamente a viabilidade das sementes, tais como: umidade, temperatura, trocas gasosas, características do tegumento da semente, maturidade, infestação por fungos e insetos (CALDWELL; BRITZ; MIRECKI, 2005; GONÇALVES et al., 2000).

Cardoso et al. (2004) em estudo sobre o armazenamento de sementes de soja, em sistema a frio, tratadas ou não com fungicida, verificaram que mesmo sob o sistema a frio as sementes apresentaram queda nos valores de germinação,

envelhecimento acelerado, emergência a campo, vigor e viabilidade (tetrazólio), ao longo dos oito meses de armazenamento. O que evidencia os efeitos do armazenamento sob a qualidade fisiológica de sementes de soja. Vale salientar que no armazenamento convencional os efeitos negativos sobre a qualidade das sementes de soja são mais proeminentes do que os observados quando as mesmas são resfriadas, conforme observado por Demito e Afonso (2009).

Quanto ao teor de lignina e armazenamento, Krzyzanowski et al. (2008) com o objetivo de avaliar se a lignina sofre degradação durante um ano de armazenamento em ambiente controlado (10 °C e 50% UR ar), trabalharam com 12 cultivares com distintos conteúdos de lignina no tegumento. Verificaram que o conteúdo de lignina diferiu entre as cultivares nas duas épocas analisadas, porém, os teores das mesmas mantiveram-se estáveis mesmo após um ano de armazenamento, sugerindo que a lignina não se degrada ao longo do armazenamento sob condições controladas.

Como o potencial de conservação está relacionado com a qualidade fisiológica das sementes de soja no início do período de armazenamento (CASTRO, 1989) e entre os fatores que afetam o potencial fisiológico encontram-se a constituição química das mesmas e a disponibilidade de nutrientes para as plantas produtoras (CARVALHO; NAKAGAWA, 2000), por consequência, a concentração de minerais nas sementes pode afetar a conservação durante o armazenamento (JACOB NETO; ROSSETO, 1998).

Pesquisas neste sentido são escassas, como Toledo et al. (2009) que trabalharam com nitrogênio (N) na produção de sementes de feijão e observaram que a aplicação adicional de N em cobertura proporcionou a obtenção de sementes de melhor qualidade fisiológica, logo após a colheita e após quatro meses de armazenamento. Quanto às sementes de soja, trabalhos que abordam a nutrição mineral e a manutenção da qualidade das sementes sob efeito do armazenamento são ainda insuficientes, por isso se fazem necessários.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido no campo experimental do Departamento de Agricultura, da Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Lavras, MG. As análises foram realizadas na UFLA, no Laboratório Central de Análise de Sementes, Departamento de Agricultura, no Laboratório de Patologia de Sementes, Departamento de Fitopatologia e no Laboratório de Análises Químicas, Departamento de Química.

A cidade está localizada na região Sul de Minas Gerais, latitude 21° 14' S, longitude 45° 00' W Gr. e 918 m de altitude. O clima de Lavras, pela classificação climática de Köppen, é Cwa, temperado chuvoso (mesotérmico), com inverno seco e verão chuvoso, subtropical. A precipitação anual normal é de 1.529,7 mm, sendo os maiores valores observados nos meses de dezembro (296 mm), janeiro (272 mm) e fevereiro (192 mm) (BRASIL, 1992; DANTAS; CARVALHO; FERREIRA, 2007).

Os dados da temperatura média, precipitação pluviométrica e umidade relativa do ar, no período da condução do experimento, estão representados na Figura 1. Dados estes obtidos junto à Estação Climatológica Principal de Lavras, Departamento de Engenharia, UFLA, Lavras, MG.

O solo na área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2006) e o resultado das análises químicas e físicas (amostra 0,00 - 0,20 m profundidade) está apresentado na Tabela 1. Quanto ao manganês (Mn), salienta-se que no solo da área experimental o teor verificado de 5,0 mg dm<sup>-3</sup>, foi classificado como baixo, uma vez que o nível crítico considerado por Ribeiro, Guimarães e Alvarez (1999) é 8,0 mg dm<sup>-3</sup>.



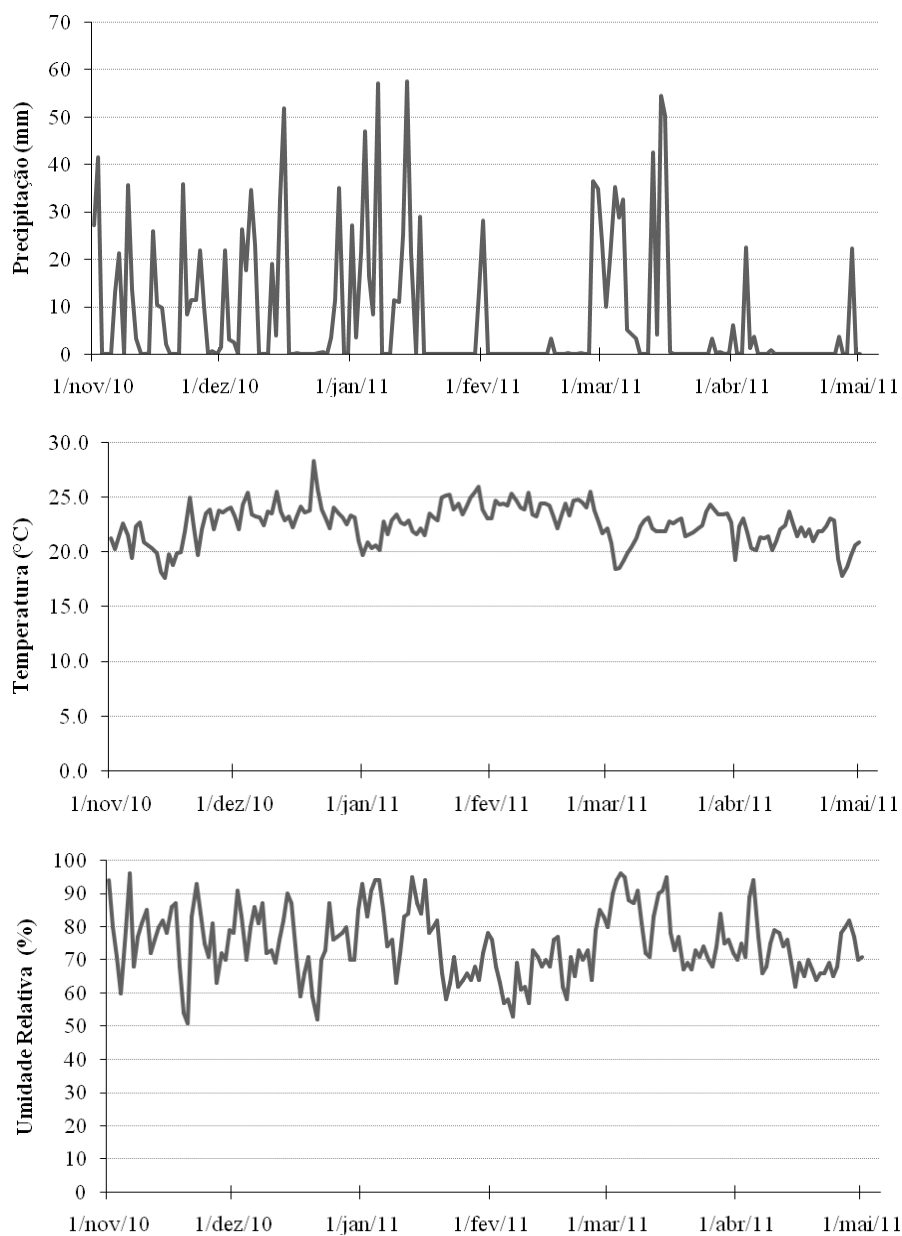


Figura 1 Precipitação pluviométrica (mm), temperatura média (°C) e umidade relativa do ar (%) diárias, novembro de 2010 a maio de 2011. Estação Climatológica Principal de Lavras, Departamento de Engenharia, UFLA, Lavras, MG

Tabela 1 Resultados das análises químicas e físicas de solo das amostras coletadas (0,00 - 0,20 m) na área experimental do Departamento de Agricultura da UFLA em Lavras, MG

Parâmetro	Extrator	Unidade	Análise*	Interpretação**
P	Mehlich 1	mg dm <sup>-3</sup>	6,2	Médio
K	Mehlich 1	mg dm <sup>-3</sup>	83,0	Bom
Mn	Mehlich 1	mg dm <sup>-3</sup>	5,0	Baixo
Zn	Mehlich 1	mg dm <sup>-3</sup>	2,9	Alto
Fe	Mehlich 1	mg dm <sup>-3</sup>	51,5	Alto
Cu	Mehlich 1	mg dm <sup>-3</sup>	1,9	Alto
Na	Mehlich 1	mg dm <sup>-3</sup>	0,9	
B	Água quente	mg dm <sup>-3</sup>	0,2	Baixo
S	Fosfato monocálcio	mg dm <sup>-3</sup>	80,0	Muito bom
Ca	KCl 1mol L <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	2,2	Médio
Mg	KCl 1mol L <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,8	Médio
Al	KCl 1mol L <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,1	Muito baixo
H + Al	SMP	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	5,0	Bom
Soma de bases		cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	3,2	Médio
CTC efetiva (t)		cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	3,3	Médio
CTC pH 7,0 (T)		cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	8,3	Médio
Saturação bases (V)		%	38,9	Baixo
Saturação Al <sup>3+</sup> (m)		%	3,0	Muito baixo
M.O.		dag kg <sup>-1</sup>	3,0	Médio
P-rem		mg L <sup>-1</sup>	17,6	
pH em H <sub>2</sub> O	KCl e CaCl <sub>2</sub> (1:2,5)		5,4	Acidez média
Areia		dag kg <sup>-1</sup>	27,0	
Silte		dag kg <sup>-1</sup>	10,0	
Argila		dag kg <sup>-1</sup>	63,0	

\*Análises realizadas no Laboratório "John Weelock" do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras MG.

\*\* Interpretações de acordo com Ribeiro, Guimarães e Alvarez (1999)

### 3.2 Instalação e condução do experimento

O preparo do solo foi constituído de uma aração e uma gradagem. A abertura dos sulcos de semeadura, espaçados em 0,50 m, foi realizada utilizando tração mecanizada.

De posse dos resultados da análise de solo (0,00 - 0,20 m), Tabela 1, a adubação foi realizada de acordo com as recomendações para soja em Ribeiro, Guimarães e Alvarez (1999), foram aplicados 400 kg ha<sup>-1</sup> no sulco de semeadura do fertilizante formulado NPK 04-30-10.

As cultivares de soja utilizadas foram duas convencionais e suas derivadas transgênicas (RR) tolerantes ao herbicida glifosato, conforme Gris et al. (2010). Para a escolha das mesmas foram considerados os teores de lignina no tegumento das sementes obtidos por Gris (2009), sendo os pares de cultivares e seus respectivos teores de lignina: BRS Celeste (0,20 g%) e BRS Baliza RR (0,26 g%), BRSGO Jataí (0,3008 g%) e BRS Silvânia RR (0,4167 g%).

A semeadura foi realizada no dia 12 de novembro de 2010. As sementes foram tratadas com o fungicida formulado Carbendazin + Thiram (200 mL para 100 kg sementes) e inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum*, utilizando-se inoculante turfoso na proporção de 1,2 x 10<sup>6</sup> bactérias por semente. O desbaste foi realizado 15 dias após emergência das plântulas, mantendo-se 15 plantas por metro, 300.000 plantas por hectare.

No controle de plantas invasoras não foi utilizado o herbicida glifosato, aplicado somente o herbicida formulado fluazifope-P-butílico + fomesafem tanto para as cultivares convencionais quanto para as transgênicas RR. Os controles das doenças e pragas foram realizados uniformemente em todas as parcelas de acordo com as necessidades e recomendações para a cultura, foram utilizados os fungicidas Azoxistrobina + Ciproconazol e Tiofanato-metílico, e os inseticidas Gama-cialotrina e Beta-ciflutrina + Imidacloprido.

Nas aplicações de Mn foliar foram utilizadas quatro doses: 0; 200; 400 e 600 g Mn ha<sup>-1</sup>, com aplicação única juntamente com adjuvante vegetal. Na dose 0 g Mn ha<sup>-1</sup> foi aplicado água e nas demais a fonte de Mn utilizada foi um produto comercial com garantia de Mn solúvel em água de 137,50 g L<sup>-1</sup>.

As aplicações do Mn foliar foram realizadas no estágio de desenvolvimento da planta R<sub>1</sub>, início do florescimento; ou R<sub>3</sub>, início da formação da vagem (FEHR et al., 1971).

É importante salientar que, para produção de grãos, a dose recomendada pelo fabricante do produto é de 137,50 g Mn ha<sup>-1</sup> aplicados aos 30-40 dias após emergência (V<sub>4</sub>) e que a dose indicada de Mn via foliar por Embrapa (2011), se constatada deficiência de Mn por meio de exame visual, é de 350 g Mn ha<sup>-1</sup>. Optou-se pela escolha de épocas de aplicação mais tardias e doses mais elevadas para verificar o efeito destas, principalmente, sobre a qualidade das sementes de soja produzida.

Foi utilizado pulverizador costal de pressão constante por CO<sub>2</sub>, pressão de 2,8 kgf cm<sup>-2</sup> e consumo de calda de 200 L ha<sup>-1</sup>, para aplicação do Mn foliar. No momento da aplicação a parcela foi envolvida com biombo de lona plástica para controle da deriva.

A colheita foi realizada manualmente quando as plantas se encontravam entre R<sub>7</sub>, maturidade fisiológica, e R<sub>8</sub>, maturação plena (FEHR et al., 1971). Foi efetuada secagem natural (Ao sol), até que as sementes atingissem teor de água próximo a 13% (base úmida). A debulha foi realizada por meio de trilhadora mecânica estacionária de parcelas, com cilindro e côncavo transversais. Para as análises e determinações foram utilizadas sementes retidas nas peneiras de crivo circular 5,5 e 6 mm.

### **3.3 Avaliações**

#### **3.3.1 Características agronômicas**

##### **Índice de Acamamento**

O índice de acamamento foi avaliado segundo Bernard, Chamberlain e Lawrece (1965), atribuindo-se nota 1 para todas as plantas eretas, 2 para algumas plantas inclinadas ou ligeiramente acamadas, 3 para todas as plantas moderadamente inclinadas ou 25-50% acamadas, 4 para todas as plantas severamente inclinadas ou 50-80% acamadas e 5 para mais de 80% acamadas.

##### **Número de legumes por planta**

A contagem do número de legumes por planta foi efetuada em 10 plantas, tomadas aleatoriamente na parcela útil, sendo considerada a média destes valores.

##### **Peso de mil sementes**

Foram retiradas da porção “Semente Pura” oito repetições de 100 sementes. Em seguida as sementes de cada repetição foram pesadas, considerando-se quatro casas decimais (g). Calculou-se a variância, o desvio padrão e o coeficiente de variação dos valores obtidos nas pesagens. O resultado da determinação foi obtido multiplicando-se por 10 o peso médio das oito repetições de 100 sementes, quando o coeficiente de variação não excedeu 4%, seguindo metodologia descrita nas Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009).

##### **Produtividade**

As sementes foram pesadas, os valores obtidos foram corrigidos para 13% de umidade (base úmida) e os resultados convertidos para kilogramas por hectare ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).

### **3.3.2 Qualidade das sementes antes do armazenamento**

#### **Germinação**

O substrato para semeadura foi o papel do tipo “Germitest”, na forma de rolo, umedecido com água em 2,5 vezes o peso do papel seco. Em seguida as sementes foram levadas ao germinador regulado a 25 °C. As avaliações foram realizadas conforme descritas nas Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009), aos 5 dias após a semeadura. Foram utilizadas 4 repetições de 50 sementes por repetição no campo (3 blocos), analisando-se 600 sementes por tratamento, sendo os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais.

#### **Envelhecimento acelerado**

Foram utilizadas caixas plásticas tipo gerbox, adaptadas com tela de alumínio suspensa. Em cada gerbox foram adicionados 40 mL de água e uma camada única de sementes sobre toda a tela. Em seguida foram mantidos em câmara tipo BOD a 41 °C por 48 horas (MARCOS FILHO, 1999). Após este período, as sementes foram submetidas ao teste de germinação, conforme descrição anterior, com 4 repetições de 50 sementes por bloco no campo e a contagem realizada aos 5 dias após a semeadura. Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais, avaliadas conforme BRASIL (2009).

#### **Emergência sob condições controladas**

A semeadura foi realizada em bandejas plásticas contendo como substrato solo + areia na proporção 2:1, umedecido a 60% da capacidade de retenção. Foram realizadas quatro repetições de 50 sementes por repetição no campo. Após a semeadura, as bandejas foram mantidas em câmara de crescimento vegetal à temperatura de 25 °C, em regime alternado de luz e escuro (12 horas), com irrigações subsequentes uniformes de acordo com a necessidade.

A partir da emergência da primeira plântula (cotilédone totalmente fora do substrato) foram realizadas avaliações diárias, computando-se o número de

plântulas emergidas até a estabilização, com contagem final aos 14 dias após a semeadura. Foi considerada a porcentagem final de emergência (%E) e o índice de velocidade de emergência (IVE), determinado por meio da fórmula proposta por Maguire (1962).

### **Condutividade elétrica**

Foram utilizadas 50 sementes por repetição, sendo quatro repetições para cada bloco no campo, as quais foram pesadas (g) e em seguida colocadas em copos plásticos descartáveis com 75 mL de água deionizada. Após 24 horas de embebição a uma temperatura de 25 °C, mantida em câmara tipo BOD, a condutividade elétrica foi determinada com auxílio de um condutivímetro Digimed CD-21. Os resultados foram expressos em  $\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$ , de acordo com metodologia descrita por Vieira (1994).

### **Teste de Tetrazólio**

No teste de Tetrazólio foram avaliadas 200 sementes (4 subamostras de 50 sementes) para cada repetição no campo. No pré-umedecimento, as sementes foram colocadas entre papel úmido por 16 h a 25 °C. Foi utilizada a solução de tetrazólio (Cloreto 2, 3, 5 trifênil tetrazólio) a 0,075%, na qual as sementes permaneceram por 3 h a 40 °C, na ausência de luz. Ao final do período de coloração, a solução foi descartada e as sementes foram lavadas em água corrente e mantidas imersas até o final da avaliação para evitar ressecamento. O resultado foi expresso pela porcentagem de viabilidade (potencial de germinação, somatório dos valores classificados nos níveis 1 a 5), vigor (somatório dos níveis 1 a 3) e danos mecânicos (verificados nos níveis 1 a 8), conforme metodologia proposta por França Neto, Krzyzanowski e Costa (1998).

### **Sanidade**

O teste de sanidade foi conduzido utilizando o método de incubação em papel de filtro sem congelamento (NEERGAARD, 1979), com 4 repetições de 25 sementes por parcela no campo, analisando-se 300 sementes por tratamento.

As sementes foram distribuídas em placas de Petri de 15 cm de diâmetro contendo três folhas de papel filtro previamente esterilizadas e umedecidas com água, ágar e 2,4 D esterilizados. As placas foram mantidas em sala de incubação a  $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  e fotoperíodo de 12 horas, onde permaneceram por sete dias, para então serem avaliadas quanto à incidência de patógenos, porcentagem por fungo encontrado (BRASIL, 2009). Para a identificação dos patógenos presentes nas sementes foram utilizados microscópio ótico e lupa estereoscópica.

### **3.3.3 Composição química das sementes**

#### **Teor de lignina no tegumento**

Para análise do teor de lignina no tegumento foram utilizadas duas amostras de 50 sementes para cada repetição no campo. As sementes foram imersas em água, por 12 horas, para facilitar a separação do tegumento. Após a remoção manual do tegumento, estes foram colocados para secar em estufa à temperatura de  $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ , por 48 horas.

Os tegumentos foram macerados em almofariz utilizando-se nitrogênio líquido, para facilitar maceração. Deste material, foi retirado 50 mg e transferido para microtubos de centrifugação (2 mL). As amostras foram lavadas por duas vezes consecutivas com 1,5 mL de Triton X-100 a 1% (pH 7,0), com centrifugação a 14000 rpm por 10 minutos, descartando o sobrenadante. Em seguida o precipitado foi lavado com 1,5 mL de água destilada e novamente centrifugado a 14000 rpm por 10 minutos, descartando o sobrenadante. As amostras foram congeladas à temperatura de  $-86\text{ }^{\circ}\text{C}$ , para posterior secagem por 8h em liofilizador (*Integrated SpeedVac* modelo L 101, marca Liobras). Do material liofilizado, 30 mg foram pesadas e armazenadas em dessecador.

Nestas amostras foram adicionados 1,5 mL de metanol 80%, e agitadas por 15 horas em agitador do tipo rotativo em temperatura ambiente e protegidas



da luz, para posterior centrifugação a 14000 rpm por 10 minutos. O sobrenadante foi descartado e o precipitado levado à estufa a 65 °C por 4 horas.

O resíduo seco e insolúvel em metanol, contendo lignina foi utilizado para a determinação da mesma, embasado nas metodologias de Barber e Rider (1988) e Capeleti et al. (2005), com modificações e adaptações. Para isto, foi adicionado ao resíduo um volume de 1,5 mL de solução contendo ácido tioglicólico P.S. (97%) e HCl 2M (proporção 1:10). Os microtubos foram agitados suavemente para hidratação do resíduo e então colocados em banho Maria a 95 °C por 4 horas. Após resfriamento à temperatura ambiente, as amostras foram então centrifugadas a 14000 rpm por 10 minutos. O sobrenadante foi descartado e o precipitado lavado com 1,5 mL de água destilada e novamente centrifugado a 14000 rpm, por 10 minutos.

Em seguida descartou-se o sobrenadante e o precipitado foi ressuspense em 1,5 mL de NaOH 0,5 M, sendo a mistura levada a um agitador rotativo por 15 horas, a temperatura ambiente, para posterior centrifugação a 14000 rpm, por 10 minutos. O sobrenadante foi transferido para novo microtubo no qual foram adicionados 200 µL de HCl concentrado e mantido a 0 °C por 4 horas, para permitir a precipitação da lignina ligada ao ácido tioglicólico. Após isto, a mistura foi centrifugada a 14000 rpm por 10 minutos, sendo o sobrenadante descartado. O precipitado foi ressuspense em 2,0 mL de NaOH 0,5 M, com agitação.

A absorvância desta solução foi determinada a 280 nm, espectrofotômetro Pharmacia Biotech Modelo Ultrospec 2000, e os valores calculados com base na curva de lignina, sendo a lignina expressa em gramas por cento (g%) de tecido seco (tegumento).

#### **Teor de Mn nas sementes**

Foram separadas duas amostras de 50 sementes de cada parcela. Estas sementes passaram por secagem em estufa de ventilação forçada de ar, a uma

temperatura de 65 °C por 72 horas. Em seguida foram processadas em moinho tipo Willey (peneira com abertura de malha de 0,5 mm) e submetidas à digestão nitroperclórica para determinação do teor manganês por espectrofotometria de absorção atômica (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997), no Departamento de Química da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

### **3.3.4 Atividade enzimática**

Para análise enzimática foi utilizada uma amostra de 50 sementes para cada repetição do campo e destas retiradas as duplicatas para os géis. As sementes foram tratadas com Carbendazin + Thiram, para evitar a influência da atividade enzimática fúngica. Posteriormente as sementes foram moídas em moinho refrigerado adicionando-se nitrogênio líquido e antioxidante polivinilpirrolidona (PVP) e em seguida foram armazenadas à temperatura de -86 °C.

Para a extração das enzimas foram utilizados 100 mg. Antes da extração, procedeu-se a lavagem das amostras, para retirada do óleo. Para isto, utilizou-se 600 µL da solução com 50% éter etílico + 50% água, com homogeneização em vortex e repouso por 30 minutos em gelo, o homogeneizado foi centrifugado a 14000 rpm por 30 min a 4 °C, descartando-se o sobrenadante.

Em seguida foram adicionados 300 µl do tampão de extração (ADH, EST, ICL, MDH e SOD: Tris HCl 0,2M pH 8,0; PRX: Fosfato) e 0,1% de β-mercaptoetanol. O material foi colocado em geladeira por 12 h e, depois, centrifugado a 14000 rpm, por 30 min a 4 °C. Foram aplicados 60 µL do sobrenadante no gel de corrida sistema descontínuo, gel separador poliacrilamida 7,5% e gel concentrador poliacrilamida 4,5%. O sistema tampão gel/eletrodo utilizado foi tris-glicina pH 8,9. As corridas foram efetuadas a 110 V, por 5 horas, a 4 °C. Após a eletroforese, os géis foram revelados para as

enzimas isocitrato liase (ICL; EC 4.1.3.1), protocolo ainda não publicado, esterase (EST; EC 3.1.1.1), álcool desidrogenase (ADH; EC 1.1.1.1), malato desidrogenase (MDH; EC 1.1.1.37), superóxido dismutase (SOD; EC 1.15.1.1) e peroxidase (PRX; EC 1.11.1.7), (ALFENAS et al., 2006). A avaliação dos perfis eletroforéticos foi realizada com base na presença, ausência e intensidade de bandas.

### **3.3.5 Qualidade das sementes após armazenamento**

As sementes foram acondicionadas em embalagens de papel multifoliado, capacidade para 5 kg, e armazenadas em armazém convencional na UFLA em Lavras - MG, cujas temperaturas e umidades relativas externas durante este período, obtidas junto à Estação Climatológica Principal de Lavras, Departamento de Engenharia, UFLA, estão apresentadas na Figura 2. As sementes permaneceram armazenadas nestas condições por seis meses, entre junho e novembro de 2011.

Após o armazenamento, a qualidade fisiológica e sanitária das sementes foi avaliada pelos testes de germinação, envelhecimento acelerado, emergência sob condições controladas (% E e IVE), condutividade elétrica e sanidade, utilizando as mesmas metodologias descritas para as avaliações antes do armazenamento.

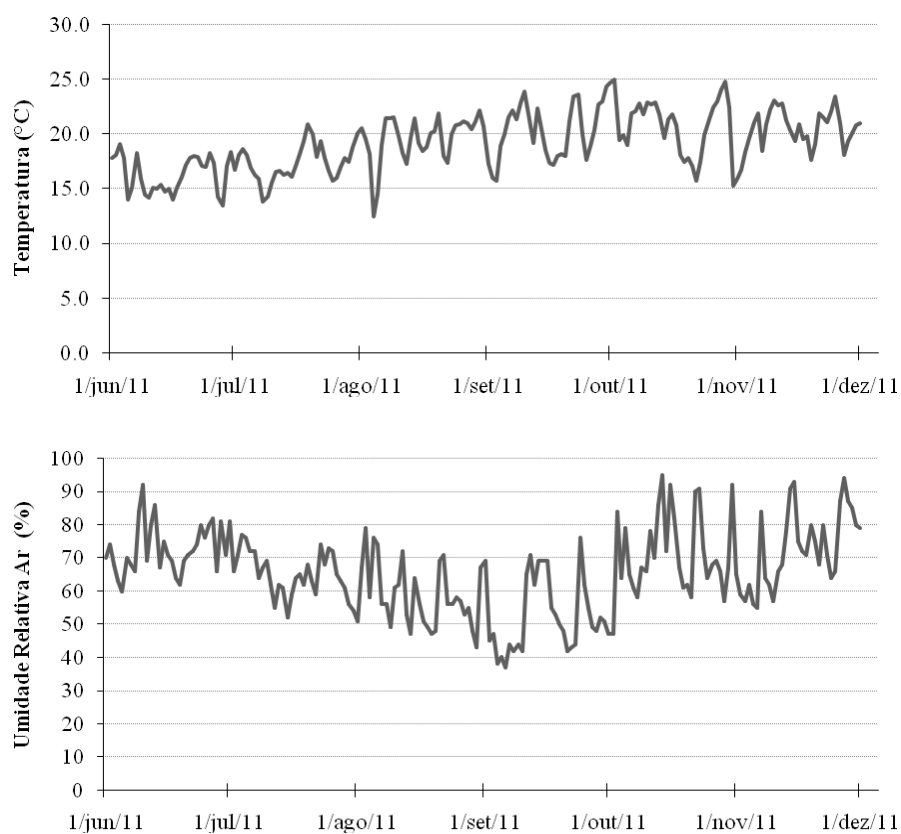


Figura 2 Temperatura média (°C) e umidade relativa do ar (%), diárias e externas durante o período de armazenamento, entre junho e novembro de 2011. Estação Climatológica Principal de Lavras, Departamento de Engenharia, UFLA, Lavras, MG

### 3.4 Delineamento experimental e análises estatísticas

As parcelas experimentais foram constituídas de 4 fileiras de plantas com 5 metros de comprimento, espaçadas em 0,5 m, sendo que as duas externas constituíram as bordaduras e as duas centrais as linhas úteis, desconsiderando 0,5 m em cada extremidade, totalizando 10 m<sup>2</sup> por parcela, sendo 4 m<sup>2</sup> de parcela útil.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados (DBC) com três repetições (Blocos). Os tratamentos foram dispostos em esquema fatorial 4 x 4 x 2, envolvendo; quatro cultivares de soja, quatro doses de Mn via foliar e dois estádios de aplicação, as análises foram realizadas separadamente para cada época de armazenamento.

Os dados foram submetidos à análise de variância com auxílio do software Sisvar® (FERREIRA, 2011), a 5% de probabilidade pelo teste F. Os valores de índice de acamamento, danos mecânicos e incidência fúngica foram previamente transformados em  $\sqrt{x + 1}$ . Quando pertinente, as médias foram comparadas utilizando-se o teste Scott e Knott (1974), a 5%, ou foram realizadas análises de regressão polinomial, com a escolha de modelos matemáticos significativos a 5%, com maior coeficiente de determinação.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Características agronômicas

Por meio da análise de variância (Tabela 1A) dos resultados das características agronômicas verifica-se efeito significativo de cultivar sobre o número de legumes por planta, peso de mil sementes e produtividade, sendo que para o número de legumes por planta e a produtividade também houve efeito de doses. Não houve efeito significativo de estágio de aplicação para qualquer das características agronômicas. As interações significativas foram cultivar\*dose para número de legumes por planta e cultivar\*dose\*estádio para a produtividade.

#### **Índice de acamamento**

O índice de acamamento não foi influenciado por qualquer das fontes de variação (Tabela 1A). Isto pode estar relacionado a alguns fatores, como os estádios de aplicação do Mn foliar, R<sub>1</sub>, início do florescimento, ou R<sub>3</sub>, início da formação da vagem (FEHR et al., 1971), e ao fato de que todas as cultivares utilizadas apresentam crescimento determinado, ou seja, após R<sub>1</sub> o crescimento é nulo. Assim, a altura das plantas não é afetada e, conseqüentemente, o índice de acamamento também não, devido à tendência da relação entre estes dois fatores.

#### **Número de legumes por planta**

Quanto às doses em função das cultivares, foi verificado efeito quadrático sobre o número de legumes por planta para a cultivar Baliza RR, sendo o valor máximo, 110,51 legumes, obtido com a dose 189,88 g Mn ha<sup>-1</sup> (Figura 3). Já para cultivar Celeste, o modelo que se ajustou aos dados foi o de terceiro grau, com maior valor alcançado com a dose 120,45 g Mn ha<sup>-1</sup>, atingindo 118,11 legumes por planta. Para a cultivar Jataí foi observado comportamento quadrático do efeito de doses de Mn foliar, sendo o maior

número de legumes por planta, 125,63, proporcionado pela dose 228,78 g Mn ha<sup>-1</sup>. Quanto à Silvânia RR, o comportamento foi linear, com maior valor observado, 98,24, na dose 0 g Mn ha<sup>-1</sup>, sendo verificado efeito negativo da aplicação foliar de Mn sobre o número de legumes por planta para esta cultivar.

É interessante salientar que as cultivares, com exceção de Silvânia RR, cujo comportamento foi peculiar, obtiveram maiores números de legumes por planta com doses próximas a 200 g Mn ha<sup>-1</sup> e com as doses mais elevadas os efeitos foram negativos. Ressalta-se que o número de legumes por planta é um dos principais componentes da produtividade. Segundo Ritchie et al. (1997), esta característica é mais responsiva aos tratamentos do que o número de grãos por legume e massa dos grãos.

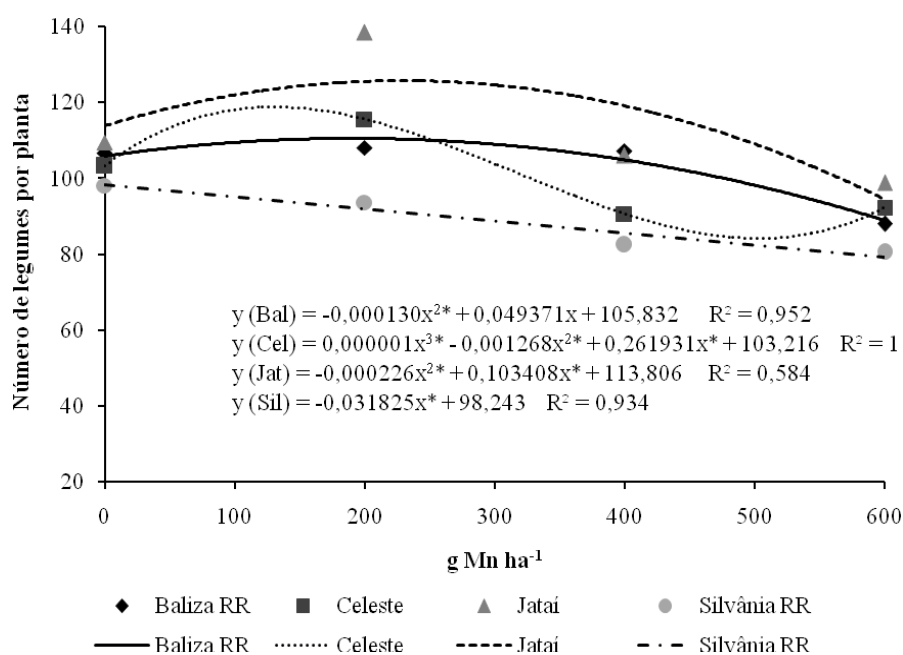


Figura 3 Equação de regressão para número de legumes por planta, em função de doses de Mn foliar aplicadas às plantas de diferentes cultivares de soja. \*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F

Comparando as cultivares em cada dose aplicada, verificou-se que na ausência de Mn foliar as cultivares não diferiram quanto ao número de legumes por planta. No entanto, com a utilização das doses 200 e 400 g Mn ha<sup>-1</sup> os valores foram diferentes entre as cultivares (Tabela 2), indicando respostas diferenciais entre elas. Com a dose 200 g Mn ha<sup>-1</sup> constatou-se que a cultivar Jataí (138,51) foi superior às demais, seguida de Celeste e Baliza RR com 115,56 e 108,06 legumes, que não diferiram entre si, e Silvânia RR (93,65) com o menor número de legumes por planta. Já com a aplicação de 400 g Mn ha<sup>-1</sup>, Baliza RR (107,28) e Jataí (105,93) foram superiores às demais, Celeste e Silvânia RR com médias 90,56 e 82,50, respectivamente (Tabela 2). Silvânia RR, tanto em 200 quanto em 400 g Mn ha<sup>-1</sup>, foi a cultivar com os menores números de legumes por planta, o que influenciou a produtividade em relação às demais, por este ser um relevante componente produtivo. Com a utilização de 600 g Mn ha<sup>-1</sup> as cultivares não diferiram.

Tabela 2 Número de legumes por planta de cultivares de soja nas diferentes doses de Mn aplicado via foliar

Cultivares	Doses de Mn foliar*			
	0	200	400	600
Baliza RR	106,65 a	108,06 b	107,28 a	87,95 a
Celeste	103,21 a	115,56 b	90,56 b	92,30 a
Jataí	109,45 a	138,51 a	105,93 a	98,83 a
Silvânia RR	98,06 a	93,65 c	82,50 b	80,56 a

\*Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott

### Peso de mil sementes

Entre a cultivar convencional e sua derivada transgênica RR (Celeste e Baliza RR; Jataí e Silvânia RR) não houve diferença, evidenciando assim a semelhança entre os genótipos derivados (Tabela 3). Mas entre os pares de cultivares foi constatado que as médias de Celeste com peso de mil sementes 161,47 g e Baliza RR com 158,27 g foram superiores às médias obtidas por



Silvânia RR e Jataí, cujos valores foram 154,03 e 153,83 g, respectivamente (Tabela 3).

Os resultados evidenciam a variação desta característica entre genótipos de soja. Camozzato et al. (2009) também verificaram diferenças no peso de mil sementes entre cultivares de soja. O que está relacionado ao maior controle genético do peso de sementes, em relação ao número de legumes por planta que é mais responsivo aos tratamentos. Devido à isto, o peso de sementes é dotado de maior resistência às fontes de variações (RITCHIE et al., 1997), sofrendo pouca influência de tratamentos que modifiquem o ambiente, tais como a aplicação de nutrientes. Mas Melerato et al. (2002), trabalhando somente com a cultivar Garimpo e avaliando diferentes fontes e modos de aplicação de Mn, em plantas de soja, observaram que a aplicação exerceu influência positiva sobre o peso das sementes produzidas.

Tabela 3 Peso de mil sementes de diferentes cultivares de soja

Cultivares	Peso de mil sementes (g)*
Celeste	161,47 a
Baliza RR	158,27 a
Silvânia RR	154,03 b
Jataí	153,83 b

\*Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott

### Produtividade

Com base nas produtividades referentes às doses de Mn foliar em função das cultivares e estádios de aplicação, verificou-se que com a aplicação realizada no estádio R<sub>1</sub> houve efeito significativo apenas na cultivar Celeste (Figura 4 a), com produtividade máxima, 5164,34 kg ha<sup>-1</sup>, obtida com 152,05 g Mn ha<sup>-1</sup> e a menor média, 3459,07 kg ha<sup>-1</sup>, proporcionada por 508,98 g Mn ha<sup>-1</sup>. Com a aplicação realizada em R<sub>3</sub>, o efeito das doses de Mn foi significativo somente para a cultivar Baliza RR, com pontos máximo e mínimo semelhantes ao da

cultivar Celeste, sendo que a dose 150,11 g Mn ha<sup>-1</sup> proporcionou a maior produtividade (4487,03 kg ha<sup>-1</sup>) e o menor valor, 3168,52 kg ha<sup>-1</sup>, obtido com 497,32 g Mn ha<sup>-1</sup> (Figura 4 b).

Constatou-se efeitos positivos da aplicação foliar de Mn em doses adequadas, próximas a 150 g Mn ha<sup>-1</sup>, sobre a produtividade destas cultivares. Ressalta-se que o teor de Mn no solo estava abaixo do nível crítico (8 mg dm<sup>-3</sup>), conforme análise apresentada na Tabela 1. Os resultados de produtividade apresentam tendências semelhantes às obtidos para o número de legumes por planta (Figura 3), em que os maiores valores também foram verificados com doses próximas a esta.

Resposta semelhante foi obtida por Mann et al. (2002), que em solos com Mn abaixo do nível crítico verificaram aumentos na produtividade, nas duas formas de aplicação do Mn (solo e foliar), com maior grau de eficiência da aplicação foliar. Mondo et al. (2012) observaram correlação positiva entre o teor de Mn no solo e a produtividade da soja. Ao passo que Basso et al. (2011) constataram que mesmo com aumento no teor foliar de Mn com a suplementação do micronutriente, não houve incremento no rendimento da soja, porém, em solo com teor de Mn acima do suficiente.

As menores produtividades para as cultivares Celeste e Baliza RR nos estádios R<sub>1</sub> e R<sub>3</sub>, respectivamente, foram proporcionadas por doses próximas a 500 g Mn ha<sup>-1</sup> (Figura 4). Isto pode estar relacionado a um excesso do micronutriente nestas doses mais elevadas, visto que foram observados danos visuais de fitotoxidez em todas as cultivares, quando foram aplicados 600 g Mn ha<sup>-1</sup> (Figura 5).

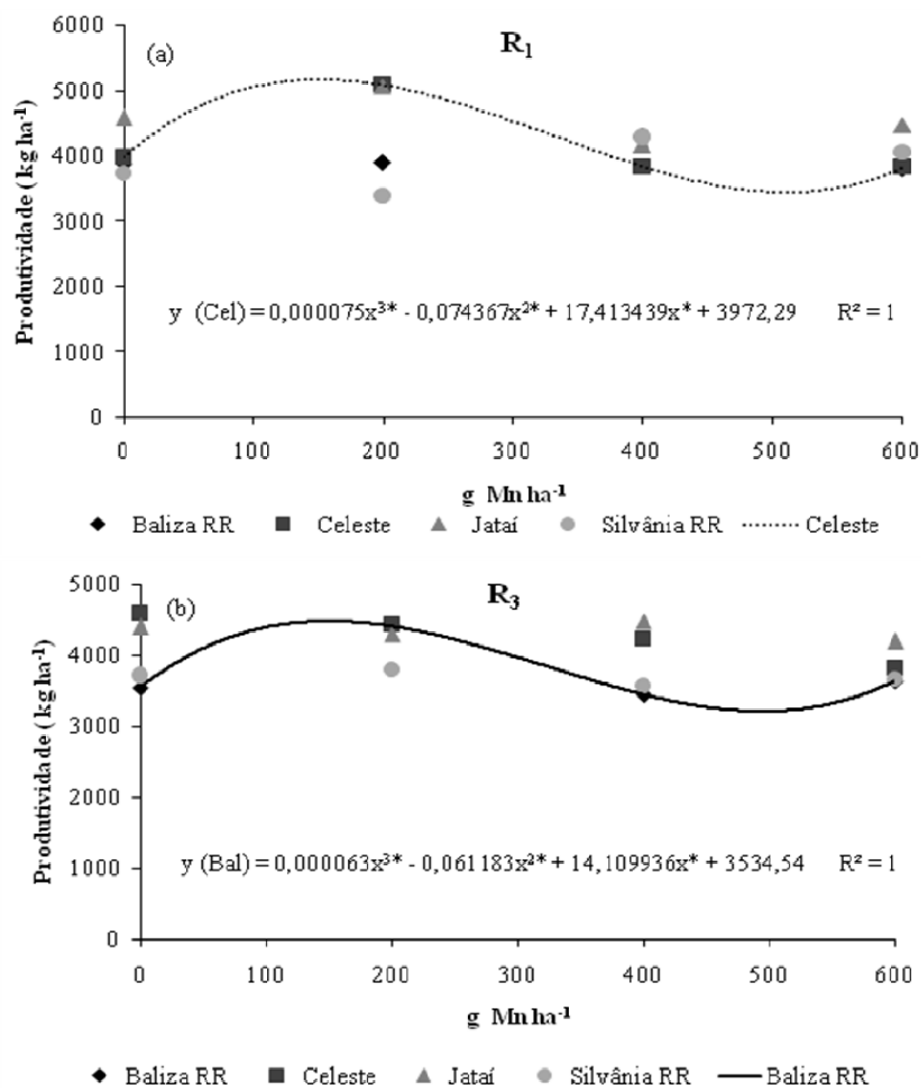


Figura 4 Equação de regressão para produtividade de soja, em função de doses de Mn foliar aplicadas às plantas em diferentes estádios e cultivares. \*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F

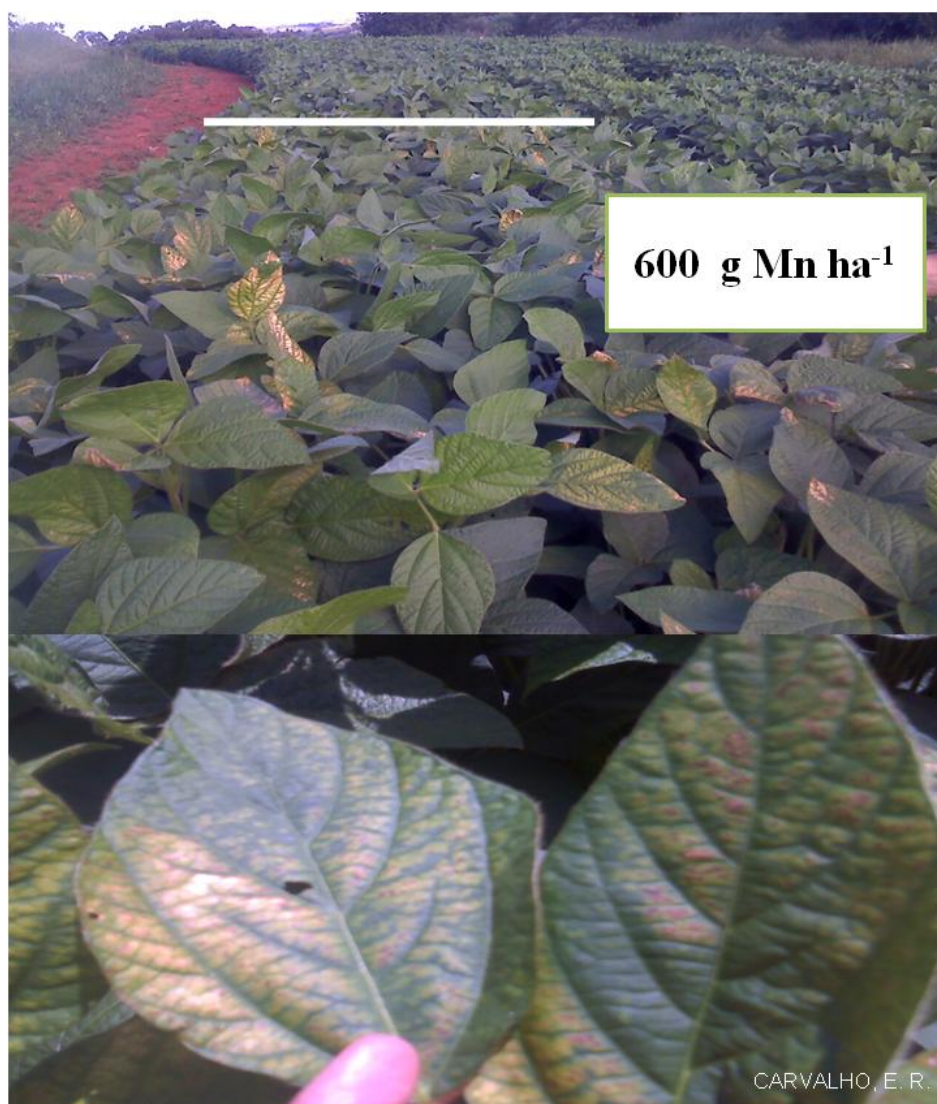


Figura 5 Fitotoxidez em folhas de soja após aplicação de  $600 \text{ g Mn ha}^{-1}$  via foliar

A cultivar Baliza RR é derivada transgênica da cultivar Celeste, genótipos semelhantes. Observou-se que em ambas, as regressões foram significativas em função das doses de Mn aplicadas nos estádio R<sub>1</sub> ou R<sub>3</sub> (Figura 4). Já para o outro par de cultivares, Jataí e Silvânia RR, isto não foi observado. Sugere-se então que a resposta à adubação com Mn pode estar condicionada ao genótipo e não à modificação genética RR. Corroborando com Lavres Júnior et al. (2008) que verificaram indicações de diferenças genotípicas entre cultivares quanto à tolerância ao excesso de Mn em solução. Loecker et al. (2010) relataram que o genótipo influenciou na resposta da planta à aplicação de Mn, sendo que a transgenia RR não proporcionou conclusivamente em maior resposta à aplicação e que nem todos os pares de cultivares (convencional e RR) irão responder da mesma forma.

Vale salientar que o patamar das produtividades verificado no experimento está acima das médias nacionais dos últimos anos, que em 2010/11 foi 3115, em 2011/12 foi 2665 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2012) e em 2012/13 estimou-se 3023 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2013). A média geral do experimento foi 4072 kg ha<sup>-1</sup> (Tabela 1A), mas foram obtidos valores acima de 5000 kg ha<sup>-1</sup>.

Em relação às produtividades das cultivares em função dos diferentes estádios de aplicação e doses de Mn foliar, foi verificado que no estádio de aplicação R<sub>1</sub> as cultivares diferiram apenas com a utilização de 200 g Mn ha<sup>-1</sup>, sendo as convencionais superiores às transgênicas RR (Tabela 4). Em R<sub>3</sub>, as produtividades entre as cultivares foram significativamente diferentes nas dosagens 0 e 400 g Mn ha<sup>-1</sup>. Na ausência da aplicação de Mn observou-se que as convencionais foram mais produtivas em relação às suas derivadas RR, o mesmo foi constatado com 400 g Mn ha<sup>-1</sup> (Tabela 4).

De modo geral, com aplicação realizada em R<sub>1</sub> ou em R<sub>3</sub>, Tabela 4, quando houve diferença entre as produtividades das cultivares, os materiais convencionais foram mais produtivos em relação aos seus derivados

transgênicos RR, na ausência e mesmo na presença de Mn aplicado via foliar (Tabela 4). Isto corrobora com os resultados obtidos por Loecker et al. (2010), em que a transgenia RR não proporcionou conclusivamente em maior resposta à aplicação de Mn.

Bertolin et al. (2010), Carvalho, E. R. et al. (2012), Gordon (2007) e Silveira e Resende (2010) também relataram menor potencial produtivo em soja transgênica RR em relação à convencional. O mesmo não foi observado por Lima et al. (2008), os quais verificaram que não há diferença no desempenho produtivo entre as linhagens de soja convencional e de soja transgênica RR.

Convém destacar que apesar das cultivares RR utilizadas neste trabalho serem essencialmente derivadas das respectivas convencionais, por meio de retrocruzamentos, nem sempre se recupera completamente o genótipo do genitor recorrente, em virtude de ciclos menores de recorrência o que pode, por consequência, acarretar em variações entre ambos os materiais (GRIS, 2009). Uma possibilidade para amenizar este efeito, neste caso, seria um número maior de retrocruzamentos, antes do lançamento comercial das cultivares. Mas com o avanço do melhoramento das cultivares transgênicas RR esta diferença tende a diminuir, igualando convencionais e transgênicas RR.

Tabela 4 Produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de cultivares de soja em função dos estádios de aplicação e doses de Mn foliar

Estádios	Cultivares	Doses de Mn foliar*			
		0	200	400	600
R <sub>1</sub>	Baliza RR	3864,40 a	3881,62 b	4279,58 a	3795,26 a
	Celeste	3972,29 a	5079,12 a	3829,44 a	3816,07 a
	Jataí	4575,51 a	5050,15 a	4151,91 a	4467,77 a
	Silvânia RR	3719,18 a	3374,15 b	4276,83 a	4044,67 a
R <sub>3</sub>	Baliza RR	3534,54 b	4415,09 a	3436,33 b	3633,63 a
	Celeste	4591,02 a	4419,19 a	4215,31 a	3813,96 a
	Jataí	4393,08 a	4293,49 a	4473,40 a	4185,44 a
	Silvânia RR	3710,32 b	3789,01 a	3563,60 b	3648,18 a

\*Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott

Quanto aos estádios de aplicação em função das doses de Mn foliar e cultivares, diferenças significativas entre os estádios foram verificadas nas cultivares Baliza RR e Silvânia RR com a aplicação de 400 g Mn ha<sup>-1</sup>. Para Baliza RR, no estádio R<sub>1</sub> foi observada produtividade de 4279,58 kg ha<sup>-1</sup>, já com aplicação realizada em R<sub>3</sub> o valor foi 3436,33 kg ha<sup>-1</sup>. Em Silvânia RR, o comportamento foi semelhante, com média superior quando o Mn foi aplicado em R<sub>1</sub>, 4276,83 kg ha<sup>-1</sup>, em relação à R<sub>3</sub>, 3563,60 kg ha<sup>-1</sup>. Na cultivar Jataí, foi constatada diferença entre os estádios com a dose 200 g Mn ha<sup>-1</sup>, sendo a aplicação realizada em R<sub>1</sub> com 5050,15 kg ha<sup>-1</sup> também superior à R<sub>3</sub>, 4293,49 kg ha<sup>-1</sup>.

Entre as quatro cultivares utilizadas neste trabalho, em três, quando os estádios de aplicação diferiram, seja com a dose 200 ou 400 g Mn ha<sup>-1</sup>, as produtividades mais elevadas foram verificadas com as aplicações realizadas em R<sub>1</sub> em relação à R<sub>3</sub>.

#### **4.2 Qualidade das sementes antes do armazenamento**

Pelos resultados da análise de variância apresentados na Tabela 2A, referentes aos testes fisiológicos, observa-se que a fonte de variação cultivar influenciou significativamente todas variáveis respostas, exceto a porcentagem de emergência, que não foi afetada por nenhum dos fatores, tão pouco pelas interações. Em relação às doses houve diferença estatística somente para germinação, já para a fonte de variação estádio de aplicação do Mn não houve diferença significativa. Para as interações, houve efeito significativo cultivar\*dose\*estádio para índice de velocidade de emergência e cultivar\*dose para condutividade elétrica.

Para os testes de tetrazólio (viabilidade, vigor e dano mecânico) e sanidade (*Cercospora kikuchii*, *Fusarium* spp. e *Phomopsis* sp.), cuja análise de

variância está na Tabela 3A, verifica-se que as cultivares só diferiram estatisticamente quanto à incidência de danos mecânicos e de *Phomopsis* sp. Já quanto às doses, estas influenciaram significativamente a viabilidade, vigor, danos mecânicos e a incidência de *Fusarium* spp. Os estádios de aplicação proporcionaram diferenças estatísticas somente na viabilidade das sementes. Quanto à interação entre os fatores, houve efeito significativo para cultivares\*doses na incidência de danos mecânicos, *Cercospora kikuchii*, *Fusarium* spp. e *Phomopsis* sp.

### **Germinação**

Entre as sementes das cultivares foi constatada diferença quanto à porcentagem de germinação, sendo que as sementes da cultivar Baliza RR com média 93% foram superiores às demais, as quais não diferiram entre si (Tabela 5). Também Gris et al. (2010) trabalhando com estas cultivares dentre outras, constataram que as sementes das cultivares Celeste (95%) e Baliza RR (91%) apresentaram porcentagens de germinação superiores às obtidas por Silvânia RR (82%) e Jataí (76%) com o retardamento da colheita ( $R_8 + 20$ ).

Em relação ao genótipo convencional e seu derivado RR, Carvalho, T. C. et al. (2012) observaram maior germinação para a cultivar CD 206 (92%) em relação à sua derivada transgênica RR, CD 206 RR (87%), no entanto, estes autores trabalharam somente com este par de cultivares. Fato este não constatado no presente estudo, pois a germinação das sementes de Baliza RR superou Celeste, ao passo que sementes de Jataí e Silvânia RR foram iguais (Tabela 5), indicando a necessidade de pesquisas suplementares.



Tabela 5 Porcentagem de germinação de sementes de diferentes cultivares de soja

Cultivares	Germinação (%)*
Baliza RR	93 a
Celeste	90 b
Jataí	90 b
Silvânia RR	89 b

\*Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott

Em relação às doses observou-se efeito quadrático, com coeficiente de determinação ( $R^2$ ) 80,3%, Figura 6. Na ausência da aplicação foliar de Mn, a média foi 88,61%, mas com as aplicações, houve incremento na germinação das sementes de soja produzidas, a exemplo, 200 e 300 g Mn ha<sup>-1</sup> com médias de 91,43 e 91,93%, respectivamente. Sendo o valor máximo estimado 91,97% obtido com a dose 335 g Mn ha<sup>-1</sup>, o que ressalta a importância da nutrição mineral com Mn para obtenção de sementes de alta qualidade.

Mann et al. (2002) verificaram aumentos na germinação nas duas formas de aplicação do Mn, solo e foliar, com maior grau de eficiência da aplicação nas folhas, o que corrobora com o obtido neste trabalho, cujas aplicações foram realizadas somente por via foliar. Porém, o mesmo não foi observado por Melarato et al. (2002). Mondo et al. (2012) constataram correlação negativa entre o teor de Mn no solo e a germinação das sementes de soja.

A partir da dose 335 g Mn ha<sup>-1</sup> verificou-se efeito negativo da utilização do Mn foliar (Figura 6). As doses elevadas não foram eficientes para obtenção de sementes com maior poder germinativo, possivelmente relacionado ao efeito fitotóxico provocado pelo micronutriente em dosagens mais elevadas, conforme apresentado na Figura 5.

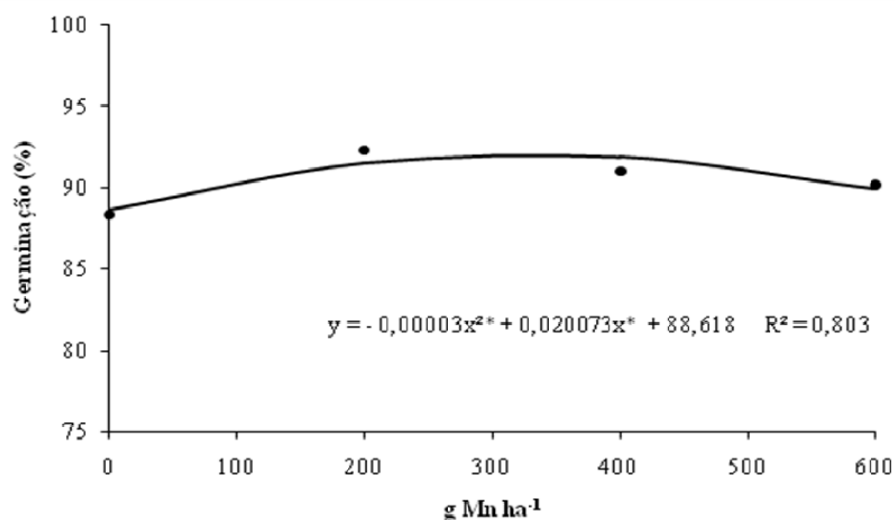


Figura 6 Equação de regressão para germinação de sementes de soja, porcentagem de plântulas normais aos 5 dias, em função de doses de Mn foliar aplicadas às plantas produtoras. \*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F

### Envelhecimento acelerado

As porcentagens de germinação após o envelhecimento acelerado foram distintas entre as cultivares. As sementes da cultivar Baliza RR apresentaram maior vigor, 94%, em relação às demais cultivares que não diferiram entre si (Tabela 6), resultados estes semelhantes ao de germinação.

Existe diferença quanto ao vigor das sementes das cultivares, sendo esta característica inerente a cada genótipo. Neste sentido, Gris et al. (2010) observaram que tanto na germinação quanto no envelhecimento acelerado, com o retardamento da colheita, sementes das cultivares Celeste e Baliza RR obtiveram maiores médias em relação às de Jataí e Silvânia RR.

A aplicação de Mn foliar não incrementou as médias de germinação após o envelhecimento acelerado, entre os estádios também não houve diferença. O mesmo foi constatado por Melerato et al. (2002), tanto com Mn aplicado via foliar quanto no solo. No entanto, Mann et al. (2002) verificaram superioridade

das médias de germinação das sementes após o envelhecimento acelerado com a utilização de Mn, tanto foliar quanto aplicado via solo para a cultivar Garimpo.

Tabela 6 Porcentagem de germinação de sementes após o envelhecimento acelerado de diferentes cultivares de soja

Cultivares	Envelhecimento Acelerado (%)*
Baliza RR	94 a
Celeste	91 b
Jataí	91 b
Silvânia RR	90 b

\*Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott

### Porcentagem de emergência

Não houve efeito significativo dos fatores cultivares, doses e estádios de aplicação, tão pouco das interações, sobre a porcentagem de emergência de plântulas, cuja média geral foi 98% (Tabela 2A). Mann et al. (2002) também não verificaram diferenças entre os tratamentos com Mn para porcentagem de emergência.

### Índice de velocidade de emergência (IVE)

Pelos resultados apresentados na Figura 7, referente ao IVE, verifica-se que a aplicação foliar de Mn no estádio R<sub>1</sub> proporcionou diferenças significativas apenas nas plântulas da cultivar Celeste. O modelo que se ajustou aos dados foi de terceiro grau, sendo o maior IVE (13,68) atingido com a dose 130,34 g Mn ha<sup>-1</sup>, demonstrando que a aplicação de Mn com doses próximas a este valor pode incrementar o vigor das sementes, visto que sem a utilização do micronutriente o IVE obtido pelas plântulas desta cultivar foi 12,76 (Figura 7 a).

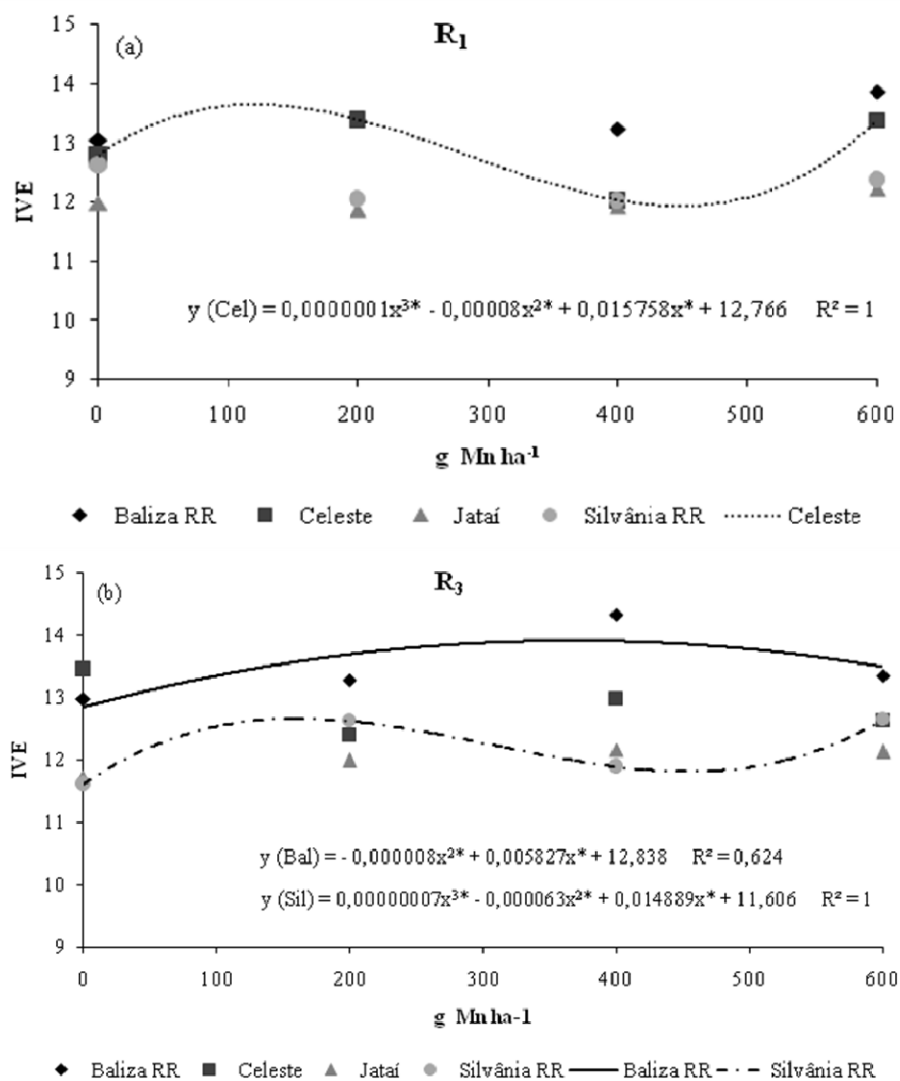


Figura 7 Equação de regressão para índice de velocidade de emergência (IVE) de plântulas de soja, em função de doses de Mn foliar aplicadas às plantas produtoras de sementes em diferentes estádios e cultivares. \*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F

Já no estágio R<sub>3</sub>, Figura 7 b, o efeito das doses de Mn foi significativo para Baliza RR e Silvânia RR, porém, com tendências distintas. Para Baliza RR, o comportamento foi quadrático, partindo de 12,83 e alcançando o IVE máximo 13,89, com 364,18 g Mn ha<sup>-1</sup>, sendo que a partir desta dose houve decréscimo no IVE. Em R<sub>1</sub> as doses de Mn foram significativas para Celeste e em R<sub>3</sub> para Baliza RR. Por se tratarem de cultivares derivadas, sugere uma possível relação da resposta ao Mn condicionada ao genótipo.

Os efeitos das doses de Mn também foram significativos para plântulas de Silvânia RR, com a aplicação realizada em R<sub>3</sub> a tendência foi de terceiro grau. Sem a aplicação de Mn o IVE foi 11,60, mas com o advento da aplicação atingiu o valor máximo, 12,66, com 162,79 g Mn ha<sup>-1</sup> (Figura 7 b).

Dentre as quatro cultivares utilizadas neste estudo, em três, Celeste, Baliza RR e Silvânia RR, verificou-se efeitos positivos da aplicação de Mn foliar, ora no estágio R<sub>1</sub> ora em R<sub>3</sub> (Figura 7), com doses adequadas entre 130 e 364 g Mn ha<sup>-1</sup>, para obtenção dos valores máximos de IVE. Esta maior velocidade na emergência é um componente relevante para o vigor, pelo fato de proporcionar um rápido estabelecimento das plântulas. Sementes com maior IVE possuem melhor desempenho e, conseqüentemente, maior capacidade de resistir a estresses que por ventura possam ocorrer (DAN et al., 2010).

Para as plântulas da cultivar Celeste, com a aplicação de Mn realizada no estágio R<sub>1</sub>, o menor IVE (12,66) foi proporcionado pela dose 402,99 g Mn ha<sup>-1</sup> (Figura 7 a). Com a aplicação realizada em R<sub>3</sub>, para Silvânia RR o IVE mínimo (11,92) foi obtido com 438,20 g Mn ha<sup>-1</sup> e para Baliza RR doses maiores que 364,18 g Mn ha<sup>-1</sup> ocasionaram efeitos negativos sobre o IVE (Figura 7 b). De um modo geral, doses mais elevadas, acima de 400 g Mn ha<sup>-1</sup> são desnecessárias e com efeito negativo sobre o vigor das sementes de soja produzidas.

Com relação aos IVE's das plântulas das cultivares de soja em função das doses de Mn foliar e estádios de aplicação, Tabela 7, observou-se que no estádio R<sub>1</sub> na ausência da aplicação de Mn foliar as cultivares não diferiram, mas com a aplicação do micronutriente os IVE's foram distintos. As plântulas das cultivares Baliza RR e Celeste foram superiores às de Jataí e Silvânia RR nas doses 200 e 600 g Mn ha<sup>-1</sup>, e com 400 g Mn ha<sup>-1</sup> somente Baliza RR foi superior às demais.

Quando a aplicação do Mn foliar foi realizada no estádio R<sub>3</sub>, com a dose 200 g Mn ha<sup>-1</sup>, plântulas de Baliza RR obtiveram o IVE mais elevado. Fato este também verificado com 400 g Mn ha<sup>-1</sup>, porém, seguida de Celeste, superiores à Jataí e Silvânia RR. De forma geral, sementes de Baliza RR e Celeste apresentaram IVE's superiores às de Silvânia RR e Jataí (Tabela 7).

Tabela 7 Índice de velocidade de emergência (IVE) de plântulas de diferentes cultivares de soja, em função dos estádios e doses de Mn foliar aplicadas às plantas produtoras de sementes

Estádios	Cultivares	Doses de Mn foliar*			
		0	200	400	600
R <sub>1</sub>	Baliza RR	13,01 a	13,38 a	13,21 a	13,85 a
	Celeste	12,76 a	13,37 a	12,01 b	13,35 a
	Jataí	11,96 a	11,86 b	11,92 b	12,21 b
	Silvânia RR	12,60 a	12,03 b	12,00 b	12,36 b
R <sub>3</sub>	Baliza RR	12,97 a	13,27 a	14,31 a	13,34 a
	Celeste	13,45 a	12,39 b	12,97 b	12,62 a
	Jataí	11,71 b	11,98 b	12,15 c	12,12 a
	Silvânia RR	11,60 b	12,62 b	11,88 c	12,65 a

\*Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott

Em relação aos estádios de aplicação em função das cultivares de soja e doses de Mn foliar foram poucas diferenças significativas. Estas observadas para Baliza RR com 400 g Mn ha<sup>-1</sup>, sendo o IVE obtido com a aplicação em R<sub>3</sub> (14,31) superior à R<sub>1</sub> (13,21). Fato semelhante também foi observado para sementes da cultivar Celeste nesta mesma dose, com média em R<sub>3</sub> (12,97)

superior à R<sub>1</sub> (12,01), no entanto com a aplicação de 200 g Mn ha<sup>-1</sup> a média em R<sub>1</sub> (13,37) foi mais elevada que em R<sub>3</sub> (12,39).

### **Condutividade elétrica**

Quanto aos resultados da interação cultivar\*dose, entre as doses de Mn foi verificada diferença estatística somente para as sementes da cultivar Celeste. O efeito foi quadrático, sendo o menor valor (46,91  $\mu\text{s cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$ ) obtido com 120,89 g Mn ha<sup>-1</sup> (Figura 8). Para esta cultivar a utilização de Mn foliar favoreceu a obtenção de sementes com alto vigor, pois o IVE também foi afetado, com o valor máximo obtido com 130,34 g Mn ha<sup>-1</sup> (Figura 7 a).

Informações semelhantes foram obtidas por Melerato et al. (2002), com a cultivar Garimpo, os quais constataram pelo teste de condutividade elétrica que os tratamentos que receberam aplicação de Mn via foliar foram superiores aos aplicados via solo ou sem aplicação. Relataram que a hipótese para justificar as diferenças entre estes tratamentos relaciona-se ao fato de que o Mn está envolvido na formação da lignina, que apresenta características de impermeabilização, podendo exercer efeito significativo sobre a capacidade de absorção de água através do tegumento, alterando assim a quantidade de lixiviados liberados para o meio externo (PANOBIANCO et al., 1999). Porém, esta hipótese não foi confirmada neste trabalho conforme discutido no subitem 4.3 Composição química das sementes, pois não foi encontrada relação entre a aplicação foliar de Mn e a formação de lignina no tegumento das sementes de soja.

Os maiores valores de condutividades elétricas para as sementes da cultivar Celeste foram em doses mais elevadas de Mn, com valor máximo atingido com 536,88 g Mn ha<sup>-1</sup> (Figura 8). Sendo isto relacionado a uma qualidade inferior destas sementes, pois o menor IVE obtido para esta cultivar foi com 402,99 g Mn ha<sup>-1</sup> (Figura 7 a). A maior condutividade elétrica em doses mais elevadas, entre 400 e 600 g Mn ha<sup>-1</sup>, pode ser devido à uma maior

quantidade do micronutriente nos lixiviados ou a um possível distúrbio provocado pelo excesso do Mn nas doses elevadas. Fatos estes que podem afetar a formação das sementes e conseqüentemente das membranas, relacionando-se à qualidade inferior das sementes obtidas nas altas dosagens, conforme verificado nos testes em geral.

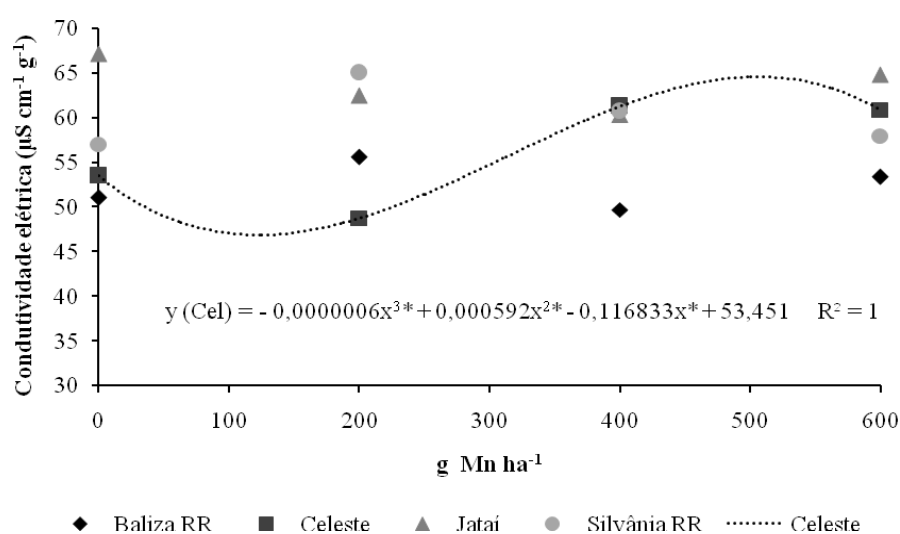


Figura 8 Equação de regressão para condutividade elétrica de sementes de cultivares de soja em função de doses de Mn foliar aplicadas às plantas produtoras. \*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F

Em relação à condutividade elétrica das sementes das cultivares em função das doses, foi constatada diferença entre os materiais em todas as doses de Mn foliar, Tabela 8. A cultivar Baliza RR apresentou menores valores de condutividade elétrica em todas as dosagens, exceto na dose 200 g Mn ha<sup>-1</sup> na qual Celeste obteve o menor valor, seguida de Baliza RR e posteriormente de Jataí e Silvânia RR, que não diferiram entre si. Este fato está associado à qualidade fisiológica das sementes da cultivar Baliza RR, que em geral foi superior.



De acordo com Vieira e Krzyzanowski (1999) para lotes de sementes de soja com alto vigor os valores de condutividade elétrica devem estar situados, no máximo, até  $70\text{-}80 \mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$ , porém, com forte tendência a apresentarem médio vigor. Neste trabalho, os resultados obtidos para as cultivares Celeste, Jataí e Silvânia RR, cujas sementes apresentaram médio a alto vigor, os valores não ultrapassaram  $67,07 \mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$  (Tabela 8). É interessante salientar que para Baliza RR, cujo vigor de suas sementes foi mais alto, os valores foram  $55,55 \mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$ .

Tabela 8 Condutividade elétrica ( $\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$ ) de sementes de cultivares de soja nas diferentes doses de Mn foliar

Cultivares	Doses de Mn foliar*			
	0	200	400	600
Baliza RR	50,98 a	55,55 b	49,68 a	53,31 a
Celeste	53,45 a	48,74 a	61,26 b	60,87 b
Jataí	67,07 b	62,41 c	60,28 b	64,72 b
Silvânia RR	57,02 a	64,99 c	60,65 b	57,95 a

\*Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott

### Tetrazólio

Na Figura 9 estão apresentados os resultados de viabilidade e de vigor obtidos no teste de tetrazólio. Em relação ao fator dose de Mn, o modelo que melhor se ajustou aos dados, tanto para viabilidade quanto para vigor, foi o de segundo grau. Os valores máximos de viabilidade e vigor foram 99,06 e 98,13%, respectivamente, nas doses 445,85 e 425,44 g Mn ha<sup>-1</sup>. Estes valores máximos de viabilidade e vigor em função das doses de Mn não foram correlatos com as demais características avaliadas. De forma geral, doses mais elevadas, acima de 400 g Mn ha<sup>-1</sup>, não incrementaram a qualidade fisiológica das sementes.

Constatou-se uma inclinação da curva mais acentuada entre as doses 0 e 200 g Mn ha<sup>-1</sup>, onde houve maior resposta ao Mn foliar, tanto para viabilidade quanto para vigor (Figura 9). Já a partir desta dose a inclinação foi mais suave,

indicando menores ganhos nas demais doses aplicadas. A inclinação entre as doses 0 e 200 g Mn ha<sup>-1</sup> foi mais proeminente quanto ao vigor em relação à viabilidade, pois a viabilidade na ausência de Mn foi 97,07% e com 200 g Mn ha<sup>-1</sup> a média estimada foi 98,45%. Para vigor a média com a dose 0 g Mn ha<sup>-1</sup> foi 94,69% e com a utilização de 200 g Mn ha<sup>-1</sup> o valor alcançou 97,16%. Assim o incremento no vigor das sementes com a utilização desta dose de Mn foliar, se correlaciona ao observado em outros testes de vigor, como IVE e condutividade elétrica. Esta informação se alinha à relação encontrada por Mann et al. (2002), entre o incremento do vigor das sementes de soja e a utilização de Mn, com maior eficiência via foliar.

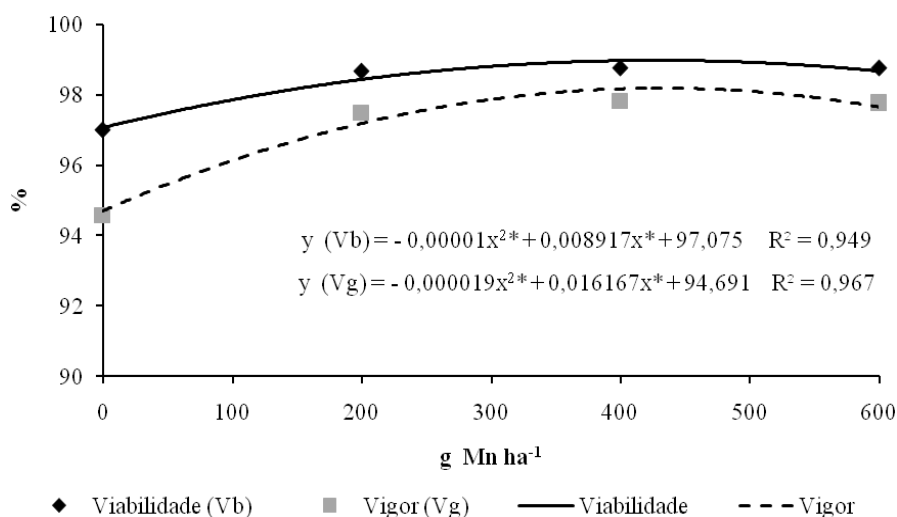


Figura 9 Equação de regressão para viabilidade (Vb) e vigor (Vg) obtida no teste de tetrazólio em sementes de soja, em função de doses de Mn foliar aplicadas às plantas produtoras. \*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F

Para viabilidade houve diferença significativa entre os estádios de aplicação (Tabela 3A), sendo o valor observado em R<sub>3</sub>, 98,70%, superior ao

obtido em R<sub>1</sub>, 97,87%. Nota-se que independente do estágio de aplicação as sementes apresentavam alta viabilidade.

### **Danos mecânicos**

Pelos resultados de danos mecânicos obtidos por meio do teste de tetrazólio, referente à interação cultivares\*doses (Figura 10), foi constatado efeito significativo das doses em todas as cultivares, com tendência quadrática para Baliza RR, Jataí e Silvânia RR, e efeito linear para Celeste.

Na ausência da aplicação de Mn foliar, nas sementes da cultivar Baliza RR a incidência de danos mecânicos foi 26,24%, mas com a utilização de Mn foliar os valores reduziram, na dose 200 g Mn ha<sup>-1</sup> este valor caiu para 6,89%, o mínimo 3,32% foi verificado com a dose 386,21 g Mn ha<sup>-1</sup>. Comportamento semelhante foi observado para Jataí e Silvânia RR, cujos valores partiram de 13,97 e 21,37%, respectivamente, sem a aplicação de Mn, e atingiram com 200 g Mn ha<sup>-1</sup> os valores de 6,12 e 10,76%, com incidências mínimas 2,72 e 7,58% alcançadas com 526,78 e 424,5 g Mn ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 10). Vale salientar que a debulha mecânica favorece a incidência de danos mecânicos.

Foi observada uma maior inclinação das curvas entre os pontos 0 e 200 g Mn ha<sup>-1</sup>, para Baliza RR, Jataí e Silvânia RR (Figura 10) e uma inclinação mais suave entre as demais doses, o que demonstra efeito da aplicação foliar de Mn sobre os danos mecânicos em relação a não utilização do micronutriente.

Para cultivar Celeste foi verificado efeito linear, quanto maior a dose de Mn foliar menor foi a incidência de danos mecânicos (Figura 10). Explicitando assim o efeito da aplicação foliar de Mn sobre a incidência de danos mecânicos em sementes de soja, o que possivelmente refletiu nos incrementos de germinação e vigor relatados anteriormente com o uso do micronutriente.

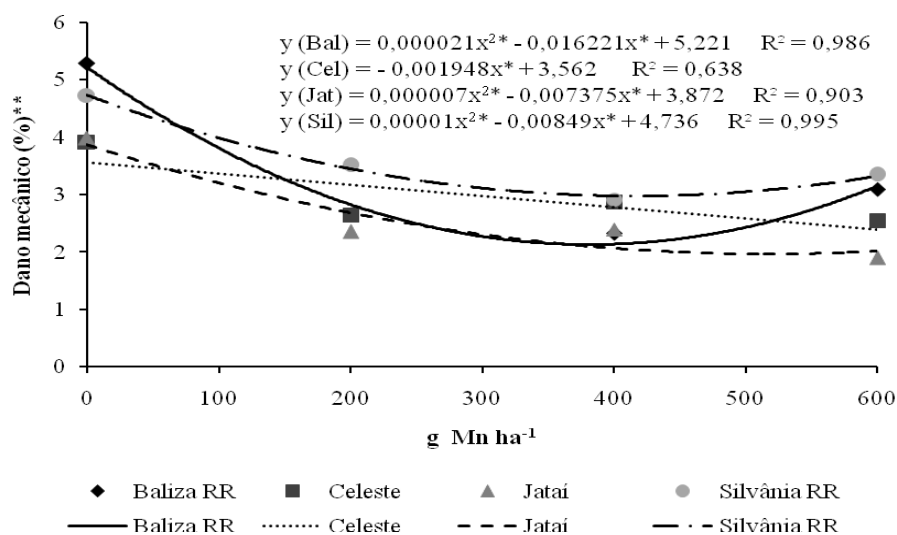


Figura 10 Equação de regressão para danos mecânicos verificados em sementes de soja no teste de tetrazólio (1-8), em função de doses de Mn foliar aplicadas às plantas produtoras de diferentes cultivares. \*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, \*\* transformados em  $\sqrt{x + 1}$

Por meio dos resultados da incidência de danos mecânicos entre as cultivares nas doses de Mn foi verificado que em 0; 200 e 600 g Mn ha<sup>-1</sup> as cultivares diferiram quanto à incidência de danos mecânicos (Tabela 9). As maiores médias de danos mecânicos foram verificadas nas sementes da cultivar Silvânia RR, o que contribuiu para o comprometimento da qualidade das sementes, visto que, de maneira geral, as sementes desta cultivar foram de qualidade inferior, conforme relatado anteriormente (Tabelas 5, 6 e 7). Porém, esta relação não se aplica a Baliza RR, que não diferiu de Silvânia RR nas doses 0 e 600 g Mn ha<sup>-1</sup> quanto aos danos mecânicos, mas com 200 g Mn ha<sup>-1</sup> a incidência em Baliza RR foi inferior à Silvânia RR (Tabela 9), o que favoreceu a melhor qualidade das sementes de Baliza RR, levando em consideração resultados dos demais testes.

Capeleti et al. (2005) trabalharam com onze cultivares de soja, verificaram uma relação direta entre teor de lignina no tegumento e resistência ao dano mecânico, estimado pelo teste do pêndulo (CARBONELL; KRZYZANOWSKI, 1995). Esta relação não foi observada no presente trabalho, visto que nas sementes da cultivar Silvânia RR, que apresentaram maior incidência de danos mecânicos, porém, estimados por meio do teste de tetrazólio (Tabela 9), foi constatado o maior teor de lignina no tegumento das sementes, Tabela 12.

Tabela 9 Porcentagem de danos mecânicos nas sementes de cultivares de soja nas diferentes doses de Mn foliar, verificados no teste de tetrazólio

Cultivares	Doses de Mn foliar*			
	0	200	400	600
Baliza RR	27,00 b	6,33 a	5,00 a	8,66 b
Celeste	14,33 a	6,66 a	7,33 a	6,33 a
Jataí	15,00 a	5,00 a	5,33 a	2,66 a
Silvânia RR	21,66 b	11,66 b	7,66 a	10,33 b

\*Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott. As médias originais foram apresentadas, mas os dados foram comparados em função dos dados transformados (Transformação em  $\sqrt{x + 1}$ )

### Teste de sanidade

No teste de sanidade, constatou-se a presença de três fungos nas sementes avaliadas, sendo *Cercospora kikuchii* o fungo encontrado em maior porcentagem nas sementes, com incidência de 12,39%, seguido de *Phomopsis* sp. com 8,63% e *Fusarium* spp. com 1,50% (Tabela 3A). Tais fungos estão entre os mais comuns em sementes de soja. Henning e Yuyama (1999), estudando a qualidade sanitária de sementes de soja produzidas em diversas regiões do Brasil, constataram que dentre os fungos encontrados, os de maior ocorrência foram *Cercospora kikuchii*, *Fusarium* spp., *Phomopsis* sp e *Colletotrichum truncatum*.

### ***Cercospora kikuchii***

Quanto à interação cultivar\*dose, houve diferença significativa entre as doses apenas na cultivar Celeste, regressão linear. Para esta cultivar, quanto maior a dose de Mn foliar aplicada menor foi a incidência de *Cercospora kikuchii* nas sementes (Figura 11). Sem a utilização do Mn foliar a média estimada da incidência foi 18,53% e com a aplicação de 200 g Mn ha<sup>-1</sup> este valor caiu para 14,60%, atingindo a incidência mínima 8,06% com a dose máxima do micronutriente.

Esta relação benéfica do Mn foliar sobre a diminuição da incidência de *Cercospora kikuchii* pode estar relacionada ao observado por Graham e Webb (1991), em que o Mn, entre todos os micronutrientes pode ser o mais importante no desenvolvimento da resistência da planta às doenças fúngicas das raízes e das folhas. Estudos sobre esta relação em sementes de soja são escassos, mas como o Mn está relacionado ao desenvolvimento desta resistência nas plantas, consequentemente, poderá propiciar uma menor contaminação fúngica das sementes produzidas, devido à menor fonte de inóculo na planta.

Pelos resultados do percentual de *Cercospora kikuchii* entre as cultivares dentro das doses, somente na dose 0 g Mn ha<sup>-1</sup> é que houve diferença significativa, sendo as maiores incidências verificadas nas sementes das cultivares Celeste e Silvânia RR, 20,34 e 14,60%, respectivamente. Sementes da cultivar Celeste apresentaram o menor teor de lignina no tegumento e o maior foi verificado em sementes de Silvânia RR (Tabela 12), por isso não foi possível estabelecer uma relação entre o teor de lignina e a incidência de *Cercospora kikuchii* nas sementes.

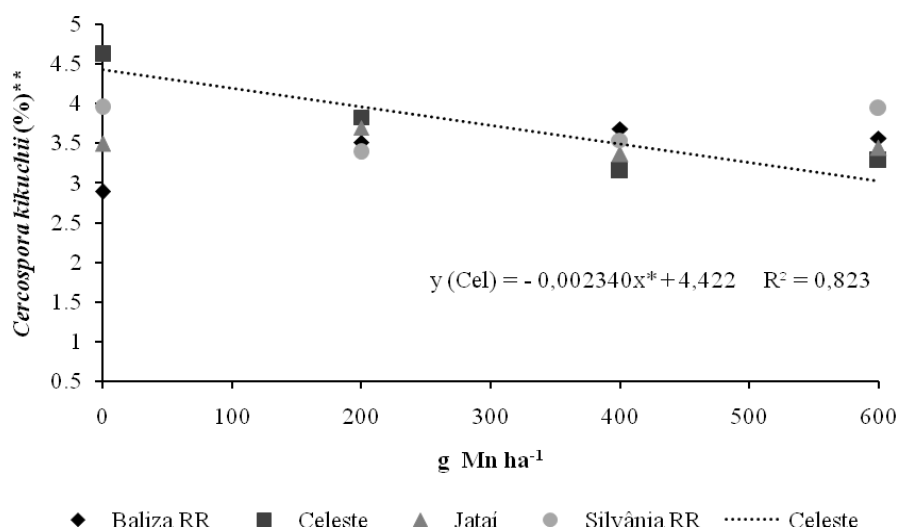


Figura 11 Equação de regressão para incidência de *Cercospora kikuchii* em sementes de soja, em função de doses de Mn foliar aplicadas às plantas produtoras de diferentes cultivares. \*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, \*\* transformados em  $\sqrt{x+1}$

### ***Fusarium* spp.**

Na Figura 12 estão apresentados os resultados da interação cultivar\*dose. Entre as doses de Mn foliar foi verificado efeito significativo apenas nas cultivares Baliza RR e Celeste. Em ambas as cultivares a tendência foi linear, com a diminuição da incidência de *Fusarium* spp. com o aumento da quantidade de Mn foliar aplicado. Para a cultivar Baliza RR a média estimada, sem a aplicação de Mn foliar, foi de 3,30%, ao passo que, com a utilização de 200 g Mn ha<sup>-1</sup> o valor foi de 1,84%, chegando a 0% de incidência com 600 g Mn ha<sup>-1</sup> (Figura 12). Nas sementes da cultivar Celeste o comportamento foi semelhante, o valor na dose 0 g Mn ha<sup>-1</sup> foi 3,57%. Mas com a aplicação de Mn foliar a incidência diminuiu, atingido 0,04% com a dose máxima aplicada, reforçando o efeito do Mn sobre a incidência de *Fusarium* spp.

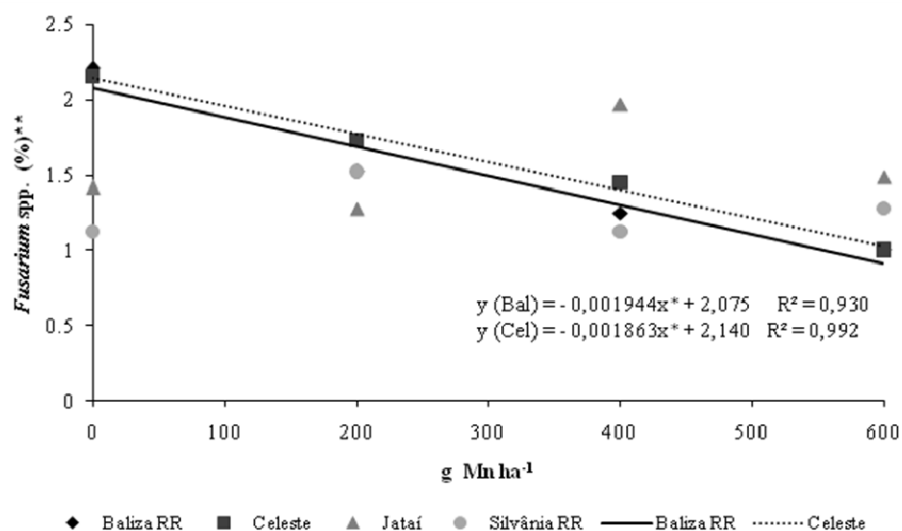


Figura 12 Equação de regressão para incidência de *Fusarium* spp. em sementes de soja, em função de doses de Mn foliar aplicadas às plantas produtoras de diferentes cultivares. \*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, \*\* transformados em  $\sqrt{x+1}$

Em se tratando da relação do Mn com a resistência da planta às doenças fúngicas, cinco possíveis mecanismos do efeito favorável deste micronutriente na planta foram citados por Malavolta (2006). Dois destes mecanismos podem ser discutidos neste trabalho, lignificação e inibição direta, mesmo que por analogia, devido à falta de informações em se tratando de sementes. Quanto à lignificação, o Mn está associado a este processo por meio da ativação da sintetase de desoxi-D-arabino heptulosanato-7-P, ligado a via do ácido chiquímico, resultando na produção de lignina, sendo ela barreira física à entrada de patógenos. Em se tratando da inibição direta, a exigência de Mn pela planta é 100 vezes maior que a do fungo, com isso, o aumento da concentração do Mn disponível pode levar a toxidez para o fungo.

Levando-se em consideração as relações observadas entre a aplicação de Mn foliar e a incidência de *Cercospora kikuchii* e *Fusarium* spp. nas sementes



de soja, que de modo geral diminuíram com o aumento da dose de Mn foliar aplicada, infere-se que o Mn por meio da lignificação provavelmente não influenciou nesta relação visto que a utilização de Mn foliar não alterou o teor de lignina no tegumento das sementes de soja (Tabela 4A). Já a inibição direta pode ter contribuído para esta menor incidência, visto que as concentrações de Mn nas sementes foram incrementadas em função das doses do Mn foliar (Figura 14). No entanto, trabalhos adicionais são necessários para verificação desta possível relação.

As sementes das cultivares diferiram entre si quanto a incidência de *Fusarium* spp. nas doses 0 e 400 g Mn ha<sup>-1</sup>, sendo que na dose inicial, ausência de Mn foliar, em Baliza RR e Celeste foram observadas maiores médias, 4,00%. Mas com aplicação de Mn estas médias diminuíram devido ao efeito do micronutriente nestes genótipos, possivelmente relacionada ao discutido quanto à inibição direta, com isto não diferindo das demais. Somente com 400 g Mn ha<sup>-1</sup> que a média da cultivar Jataí foi superior (Tabela 10).

Tabela 10 Incidência (%) de *Fusarium* spp. em sementes de cultivares de soja nas diferentes doses de Mn foliar

Cultivares	Doses de Mn foliar*			
	0	200	400	600
Baliza RR	4,00 b	1,66 a	0,66 a	0,00 a
Celeste	4,00 b	2,33 a	1,33 a	0,00 a
Jataí	1,33 a	1,00 a	3,00 b	1,33 a
Silvânia RR	0,33 a	1,66 a	0,33 a	1,00 a

\*Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott. As médias originais foram apresentadas, mas os dados foram comparados em função dos dados transformados (Transformação em  $\sqrt{x+1}$ )

### ***Phomopsis* sp.**

Para a incidência de *Phomopsis* sp. nas sementes de soja, quanto a interação doses\*cultivares foi detectado efeito significativo de doses de Mn

aplicadas nas cultivares Jataí e Silvânia RR, com efeitos de terceiro e segundo graus, respectivamente (Figura 13). Para Jataí, a incidência partiu de 6,62%, atingindo 2,88% com a aplicação de 115,34 g Mn ha<sup>-1</sup>, a partir desta dose, houve aumento da incidência de *Phomopsis* sp. com a elevação da dose até 431,32 g Mn ha<sup>-1</sup> e depois queda novamente. Na cultivar Silvânia RR, com a aplicação de Mn foliar verificou-se aumento da incidência de *Phomopsis* sp. até a dose 242,90 g Mn ha<sup>-1</sup> atingindo 10,97% e depois queda, Figura 13. Dados estes que não corroboram com o observado para a incidência de *Cercospora kikuchii* e *Fusarium* spp.

Entre as cultivares nas doses de Mn foliar, os genótipos só diferiram na dose 600 g Mn ha<sup>-1</sup>, sendo que nas sementes de Baliza RR e Celeste foram verificadas maiores incidências de *Phomopsis* sp. em relação às de Silvânia RR e Jataí.

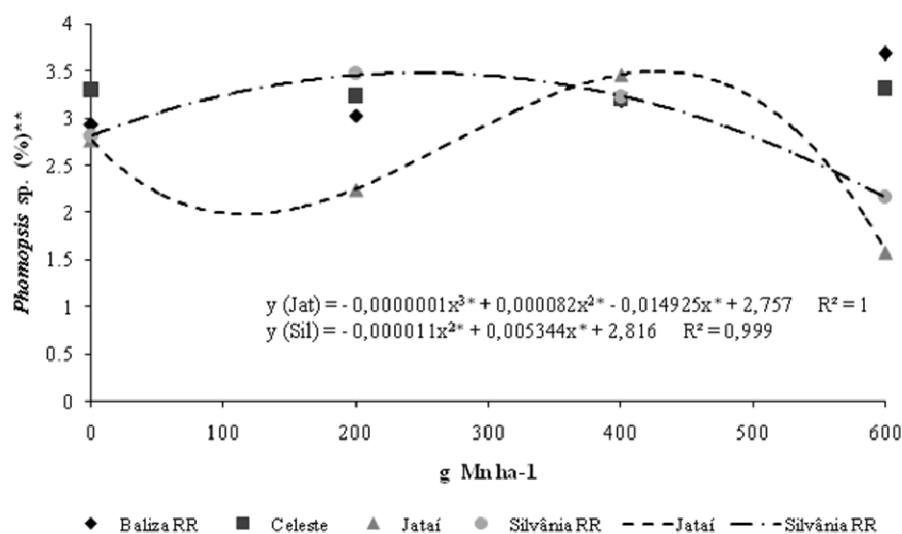


Figura 13 Equação de regressão para incidência de *Phomopsis* sp. em sementes de soja, em função de doses de Mn foliar aplicadas às plantas produtoras de diferentes cultivares. \*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, \*\* transformados em  $\sqrt{x+1}$

### 4.3 Composição química das sementes

Por meio da análise de variância dos resultados de composição química, que envolve o teor de Mn na semente inteira e o teor de lignina no tegumento das sementes (Tabela 4A), foi constatado que o teor de Mn nas sementes foi influenciado estatisticamente em função da cultivar, dose e estágio de aplicação, sendo a interação cultivar\*dose significativa. Para o teor de lignina no tegumento a diferença significativa foi entre as cultivares.

#### **Teor de Manganês**

Os teores médios de Mn nas sementes foram distintos entre os estágios de aplicação de Mn foliar. Com a aplicação realizada no estágio R<sub>3</sub> foi verificado o teor médio de 24,31 ppm de Mn nas sementes, já com a aplicação em R<sub>1</sub> o valor médio foi 23,43 ppm de Mn. Este fato pode estar relacionado à proximidade da época de aplicação do Mn foliar com o acúmulo de reservas nas sementes, pois a aplicação em R<sub>3</sub>, início da formação da vagem, foi realizada mais próxima ao enchimento das sementes em relação à R<sub>1</sub>, início do florescimento, contribuindo para este maior acúmulo de Mn.

Quanto à interação dose\*cultivares, entre as doses de Mn foliar foram verificadas diferenças estatísticas em todas as cultivares (Figura 14). Para Baliza RR, Jataí e Silvânia RR os efeitos das doses foram quadráticos, sendo que os valores partiram de 25,8; 18,85 e 21,94 ppm de Mn, sem a aplicação de Mn foliar, e atingiram os acúmulos máximos de Mn nas sementes de 26,8; 27,09 e 23,08 ppm, com as doses 232,44; 465,78 e 266,11 g Mn ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Na cultivar Celeste, a influência das doses de Mn foliar sobre o teor de Mn nas sementes foi linear, quanto maior a dose aplicada maior foi o teor de Mn verificado, com a dose 0 g Mn ha<sup>-1</sup> o teor foi 22,31 ppm Mn, ao passo que com a dose máxima este valor atingiu 24,58 ppm Mn. O Mn aplicado via foliar

translocou até as sementes, modificando o teor do micronutriente nas sementes de soja produzidas, o que indica mobilidade para as sementes em formação.

O Mn é classificado usualmente como imóvel no floema, entretanto, transloca-se às sementes em desenvolvimento (MALAVOLTA, 2006). Informação esta correlata com os dados supracitados, em se tratando de aplicação foliar de Mn e sementes de soja.

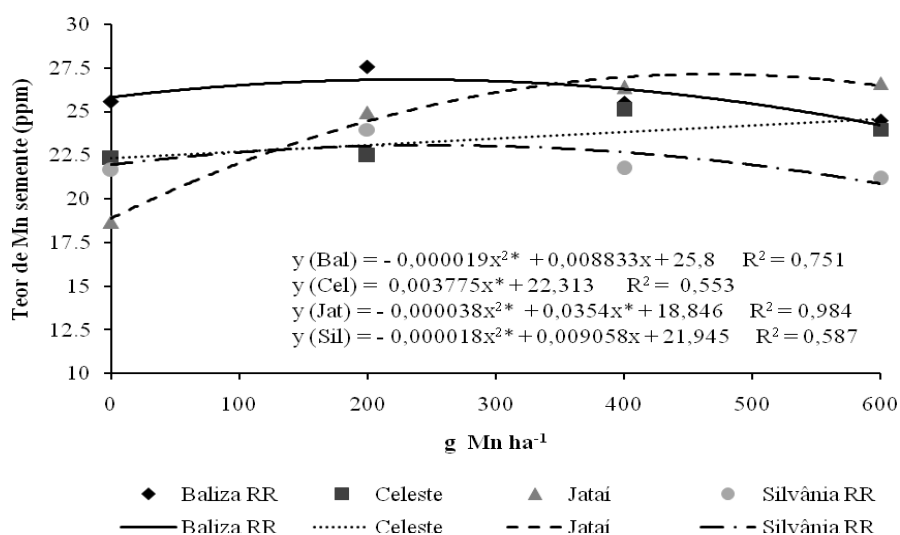


Figura 14 Equação de regressão para teor de manganês em sementes de soja, em função de doses de Mn foliar aplicadas às plantas produtoras de diferentes cultivares. \*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F

Entre as cultivares em cada dose, Tabela 11, foi constatada diferença estatística entre os genótipos em todas as doses de Mn foliar. Nas doses 0 e 200 g Mn ha<sup>-1</sup> o teor de Mn nas sementes da cultivar Baliza RR foi superior às demais. Já com 400 g Mn foliar, Baliza RR, Celeste e Jataí não diferiram e superaram Silvânia RR. Na dose máxima, o maior valor foi obtido nas sementes de Jataí, seguido de Baliza RR e Celeste que não diferiram, o teor de Mn foi inferior nas sementes de Silvânia RR.

Gordon (2007) verificou que o teor foliar de Mn na soja RR era menor do que o constatado na cultivar convencional. No presente trabalho (Tabela 11), em se tratando do teor de Mn nas sementes de soja, este menor acúmulo de Mn em RR em relação à sua convencional não foi constatado.

Verificou-se de forma generalizada que as sementes da cultivar Baliza RR apresentaram maiores teores de Mn, ao passo que, em Silvânia RR estes valores foram sempre inferiores (Tabela 11). Fato que pode estar relacionado às distintas qualidades fisiológicas entre estas cultivares, visto que as sementes de Baliza RR, de modo geral, apresentaram qualidade superior à observada para Silvânia RR (Tabelas 5, 6 e 7), indicando uma possível ligação entre o teor de Mn e a qualidade das sementes de soja. Mann et al. (2002) verificaram maior qualidade das sementes de soja em função da utilização de Mn.

Tabela 11 Teor médio de manganês (ppm) em sementes de diferentes cultivares de soja oriundas de plantas que receberam doses de Mn, via aplicação foliar

Cultivares	Doses de Mn foliar*			
	0	200	400	600
Baliza RR	25,55 a	27,55 a	25,51 a	24,45 b
Celeste	22,30 b	22,46 b	25,06 a	23,95 b
Jataí	18,66 c	24,95 b	26,40 a	26,61 a
Silvânia RR	21,63 b	23,96 b	21,73 b	21,16 c

\*Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott.

### Teor de lignina no tegumento

A aplicação foliar de Mn não afetou estatisticamente o teor de lignina no tegumento das sementes (Tabela 4A). A relação entre o Mn e a formação e acúmulo de lignina relatada por Malavolta (2006), Marschner (1995) e Panobianco et al. (1999), não foi verificada no presente trabalho, em se tratando da aplicação foliar de Mn nos estádios R<sub>1</sub> ou R<sub>3</sub> e o teor de lignina no tegumento das sementes de soja produzidas. Nesta linha Bellaloui (2012) verificou que

aplicação foliar de boro modificou os teores de fenol, lignina, isoflavonas e açúcares nas sementes de soja.

Somente entre as cultivares o teor de lignina no tegumento das sementes diferiu, sendo que Silvânia RR apresentou maior teor (0,5954 g%), seguido de Jataí (0,5364 g%), Baliza RR (0,4171 g%) e Celeste (0,3132 g%), que diferiram entre si (Tabela 12).

Na cultivar com maior teor de lignina no tegumento, Silvânia RR (Tabela 12), foi verificada, em geral, maior incidência de danos mecânicos (Tabela 9). Já na cultivar Celeste cujo teor de lignina foi o menor, abaixo de 0,4 g% (Tabela 12), a incidência de danos mecânicos nas sementes esteve sempre entre as inferiores (Tabela 9). No entanto, quanto à relação entre teor de lignina no tegumento das sementes e resistência aos danos mecânicos, Capeleti et al. (2005) constataram uma relação direta entre estas duas características, trabalhando com onze cultivares de soja com distintos teores de lignina, entre 0,264 e 0,470 g%, sugeriram também que teores de lignina no tegumento acima de 0,4 g% pode ser um indicador razoável de resistência aos danos mecânicos para sementes de soja.

Tabela 12 Teor médio de lignina no tegumento (g%) de sementes de diferentes cultivares de soja

Cultivares	Teor de lignina tegumento (g%)*
Silvânia RR	0,5954 a
Jataí	0,5364 b
Baliza RR	0,4171 c
Celeste	0,3132 d

\*Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott

Quanto à relação entre o alto teor de lignina presente no tegumento e a alta qualidade fisiológica das sementes de soja, esta não foi constatada no presente trabalho, pois na cultivar que apresentou maior teor de lignina no

tegumento, Silvânia RR com 0,5954 g% (Tabela 12), foi verificada menor qualidade fisiológica das sementes, em geral, antes do armazenamento (Tabelas 5, 6 e 7) e após o armazenamento (Tabelas 13 e 14). Na cultivar Baliza RR, que apresentou sementes com melhor qualidade fisiológica antes e após o armazenamento, o teor de lignina foi de 0,4171 g%, sendo este inferior aos obtidos em Silvânia RR e Jataí (Tabela 12). Autores relataram associação entre a alta qualidade fisiológica das sementes de soja com o alto teor de lignina presente no tegumento, a exemplo de Panobianco et al. (1999). Menezes et al. (2009) também constataram tal relação, em partes, pois verificaram correlações positivas entre o teor de lignina e a porcentagem de plântulas normais no teste de envelhecimento, porém, correlação negativa para velocidade de germinação. Já Baldoni (2010) observou que não houve correlação entre o teor de lignina e a qualidade fisiológica das sementes de soja. Neste sentido, Botelho (2012) e Dantas (2012) constataram quanto à qualidade das sementes de soja, melhores desempenhos nas cultivares com menores teores de lignina no tegumento, mesmo após o armazenamento.

Desta forma, somente o teor de lignina no tegumento das sementes de soja pode não ser um indicativo suficiente para inferência da possível qualidade das sementes de determinada cultivar. Sendo esta característica devida a outros fatores inerentes ao genótipo, porém, necessita de mais estudos.

O alto teor de lignina no tegumento das sementes pode não ter sido relacionado à alta qualidade das sementes, pois neste ensaio a colheita foi realizada quando as plantas se encontravam entre R<sub>7</sub>, maturidade fisiológica, e R<sub>8</sub>, maturação plena, não sofrendo assim com estresses que poderiam ocorrer com o retardamento da colheita, a exemplo de chuva na pré colheita, visto que uma das características da lignina é a impermeabilidade (MCDUGALL et al., 1996). Porém, Gris et al. (2010) mesmo com atraso na colheita (R<sub>8</sub> + 20), verificaram maior qualidade fisiológica nas sementes de Baliza RR e Celeste em

relação a Silvânia RR e Jataí. Reforçando assim a relação entre qualidade fisiológica e o genótipo, relatadas anteriormente.

Indagações foram realizadas quanto à lignificação em genótipos de soja RR, neste sentido comparando-se os pares utilizados, convencional e RR (Tabela 12), verificou-se que o teor de lignina no tegumento das sementes de Jataí foi inferior ao observado em sua derivada transgênica RR, Silvânia RR. Comportamento semelhante foi verificado também junto ao outro par, com teor de lignina nas sementes de Baliza RR superior ao observado em Celeste. Desta maneira, sustenta-se a inferência de que cultivares RR apresentaram maiores teores de lignina no tegumento das sementes, em relação às suas convencionais, independente da aplicação de Mn foliar.

Neste sentido Nodari e Destro (2006) verificaram em plantas RR, rachaduras no caule de penetrância elevada, possivelmente devido à superprodução de lignina nos materiais RR em relação aos convencionais, com alta temperatura e seca. Tal questionamento se baseia no fato de a alteração transgênica RR estar relacionada ao ciclo do ácido chiquímico, o mesmo utilizado pela planta para produção de lignina. Zonetti et al. (2011) trabalhando com dois pares de cultivares de soja, RR e convencional, constataram que em um deles, a RR apresentou maior teor de lignina nas raízes em comparação à convencional. Quanto a este processo em sementes de soja, Gris et al. (2010) utilizando cinco pares de RR e convencional, dentre eles Celeste e Baliza RR, Jataí e Silvânia RR, verificaram que o teor de lignina no tegumento de sementes variou significativamente somente entre as cultivares Jataí e Silvânia RR, sendo maior no genótipo RR.

Não foi possível estabelecer uma relação entre cultivar convencional e sua derivada transgênica RR, quanto à qualidade fisiológica das sementes e a diferença de lignina observada entre os pares de cultivares (Tabela 12). Porém, em se tratando de qualidade fisiológica das sementes de soja convencional e sua



derivada RR, Carvalho, T. C. et al. (2012) constataram que as sementes de soja convencional CD 206 apresentaram potencial fisiológico superior em comparação às da sua derivada transgênica, CD 206 RR.

#### **4.4 Atividades enzimáticas**

##### **Esterase (EC 3.1.1.1; EST)**

Foram verificadas diferenças na expressão da enzima esterase (EST) em sementes submetidas aos diferentes tratamentos (Figura 15). Na ausência da aplicação de Mn foliar, tratamentos 1 e 2, observa-se menor atividade da EST nas sementes de soja em relação aos tratamentos nos quais houve a aplicação de Mn foliar. Segundo Dechen e Nachtigall (2006), a principal função do Mn está relacionada à ativação enzimática.

Maior incremento na expressão da enzima EST, com a aplicação do Mn foliar, foi observado em sementes das cultivares Celeste e Jataí (Figura 15). Nestas mesmas cultivares foram observadas as maiores diferenças nos teores de Mn nas sementes entre a dose 0 g Mn ha<sup>-1</sup> e as demais com aplicação do Mn foliar (Figura 14). Para a cultivar Celeste o efeito dos tratamentos foi linear e para Jataí a inclinação inicial da curva foi maior em relação às demais.

A EST está envolvida no desdobramento de lipídeos, durante o processo de germinação das sementes. Esse processo é relevante para a retomada do crescimento do eixo embrionário, principalmente em sementes ricas em lipídeos, como é o caso da soja (VEIGA et al., 2010). No presente trabalho, houve aumento do teor de Mn (Figura 14) e da expressão da enzima EST (Figura 15) em sementes provenientes de plantas submetidas à adubação foliar com o micronutriente, este fato pode estar associado ao aumento da germinação das sementes em função da aplicação de Mn foliar (Figura 6 e 21).

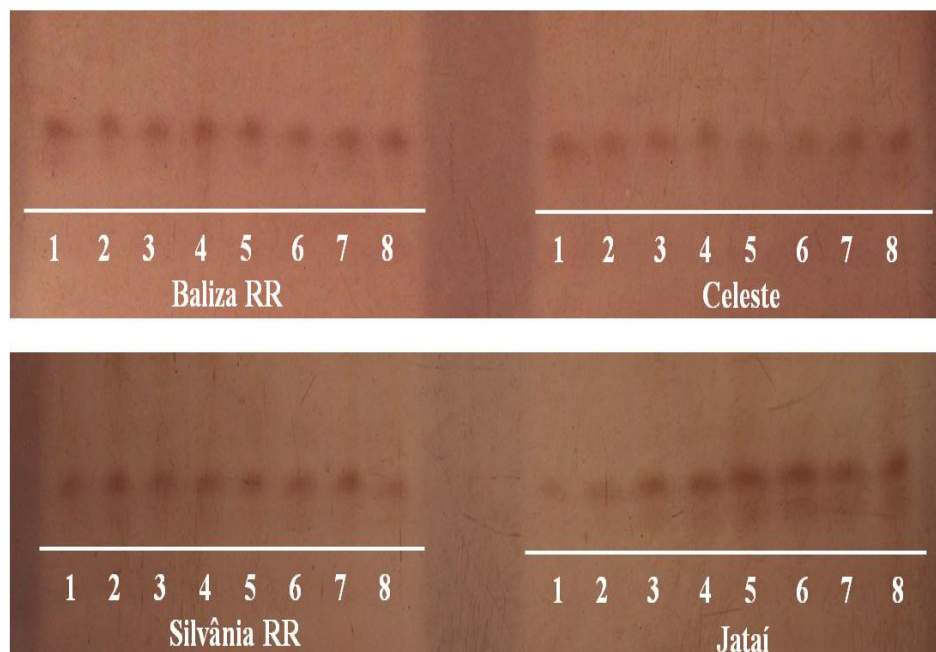


Figura 15 Padrões enzimáticos de sementes de soja das cultivares Baliza RR e Celeste, Silvânia RR e Jataí produzidas sob diferentes doses e estádios de aplicação de Mn foliar, revelados para esterase (EST). Sendo: 1(0, R1), 2(0, R3), 3 (200, R1), 4 (200, R3), 5(400, R1), 6 (400, R3), 7 (600, R1) e 8 (600 g Mn ha<sup>-1</sup> em R3)

#### Malato desidrogenase (EC 1.1.1.37; MDH)

Não houve diferença na atividade da enzima MDH em relação à aplicação de Mn. Entre as cultivares, maior expressão desta enzima foi observada em sementes das cultivares Silvânia RR e Jataí (Figura 16). A malato desidrogenase (MDH) catalisa a conversão do malato a oxalacetato no ciclo de Krebs, produzindo NADH, que é fundamental na produção de ATP e de compostos intermediários essenciais ao funcionamento das células (TAIZ; ZAIGER, 2006), relacionada assim a fase aeróbica do processo de respiração. A qualidade fisiológica das sementes de Baliza RR e Celeste, principalmente após o armazenamento, foi superior as das sementes de Silvânia RR e Jataí, nestas

últimas a maior expressão de MDH, atividade aeróbica, está associada a uma maior deterioração.

No entanto, é uma enzima presente em diferentes organelas, o que confere a estabilidade da expressão em sementes com distintos níveis de deterioração. Pesquisas que relacionem a nutrição mineral e a atividade enzimática em sementes de soja são escassas, nesta linha, Veiga et al. (2010) não constataram diferenças entre as atividades da MDH em função da adubação potássica e da calagem.

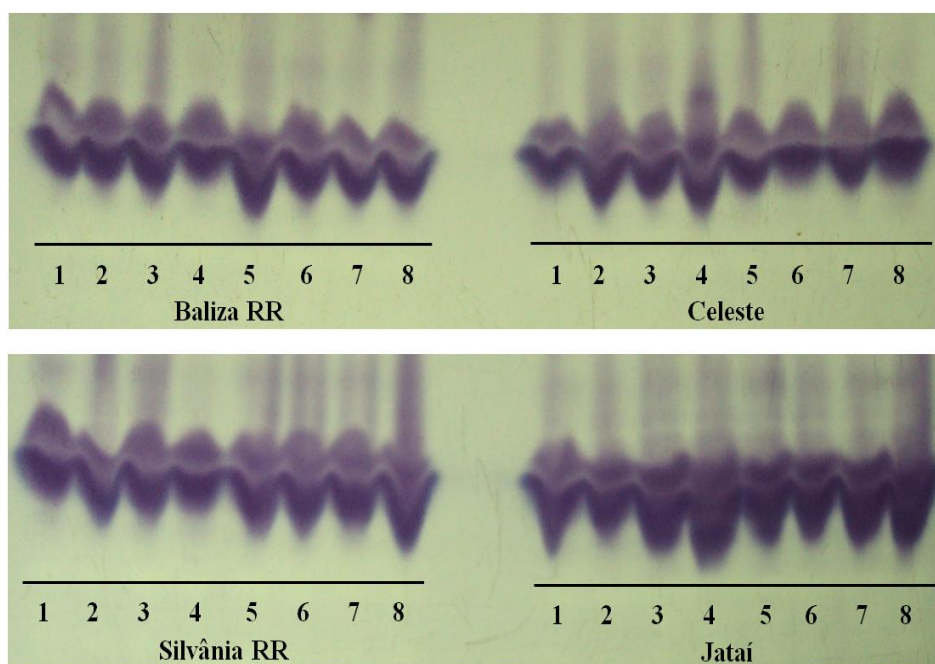


Figura 16 Padrões enzimáticos de sementes de soja das cultivares Baliza RR e Celeste, Silvânia RR e Jataí produzidas sob diferentes doses e estádios de aplicação de Mn foliar, revelados para malato desidrogenase (MDH). Sendo: 1(0, R1), 2(0, R3), 3 (200, R1), 4 (200, R3), 5(400, R1), 6 (400, R3), 7 (600, R1) e 8 (600 g Mn ha<sup>-1</sup> em R3)

### **Álcool desidrogenase (EC 1.1.1.1; ADH)**

Entre as cultivares observou-se maior expressão da enzima ADH em sementes de Baliza RR e Celeste, em relação à verificada em sementes das cultivares Silvânia RR e Jataí (Figura 17). Estas últimas, em geral, apresentaram sementes de qualidade fisiológica inferiores, principalmente após o armazenamento (Tabelas 13 e 14). Esta enzima reduz acetaldeído a etanol no metabolismo anaeróbico e quando a atividade desta enzima diminui, a semente fica mais susceptível à ação deletéria do acetaldeído (ZHANG et al., 1994), composto este que é mais tóxico para as células que o etanol formado na presença da enzima ADH.

Pelo zimograma (Figura 17) verifica-se redução na atividade da enzima ADH em sementes da cultivar Celeste provenientes de plantas submetidas a aplicação de 400 g Mn ha<sup>-1</sup> no estágio de desenvolvimento R<sub>1</sub>. Menores valores de vigor, avaliado pelo teste de IVE (Figura 7), também foram observados nesta condição.

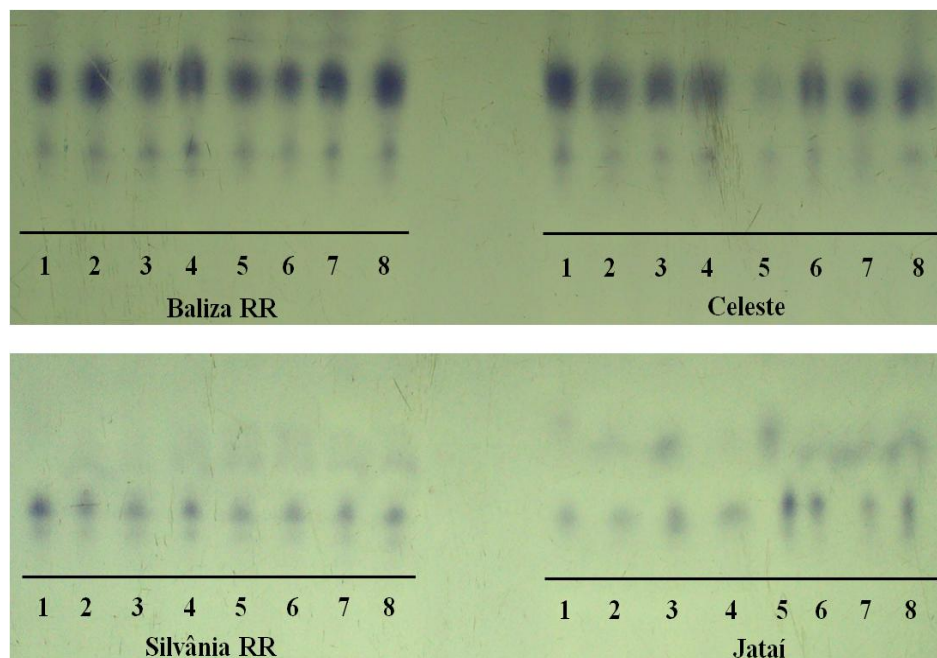


Figura 17 Padrões enzimáticos de sementes de soja das cultivares Baliza RR e Celeste, Silvânia RR e Jataí produzidas sob diferentes doses e estádios de aplicação de Mn foliar, revelados para álcool desidrogenase (ADH). Sendo: 1(0, R1), 2(0, R3), 3 (200, R1), 4 (200, R3), 5(400, R1), 6 (400, R3), 7 (600, R1) e 8 (600 g Mn ha<sup>-1</sup> em R3)

### Superóxido dismutase (EC 1.15.1.1; SOD)

Para o sistema enzimático SOD foram verificadas diferenças nas atividades em função das doses de Mn foliar, independente dos diferentes estádios de desenvolvimento na aplicação de Mn (Figura 18). De maneira geral, menor expressão foi observada em sementes produzidas sem aplicação de Mn foliar. A partir do tratamento 3 (Figura 18), com a utilização de Mn constatou-se um incremento na atividade da SOD.

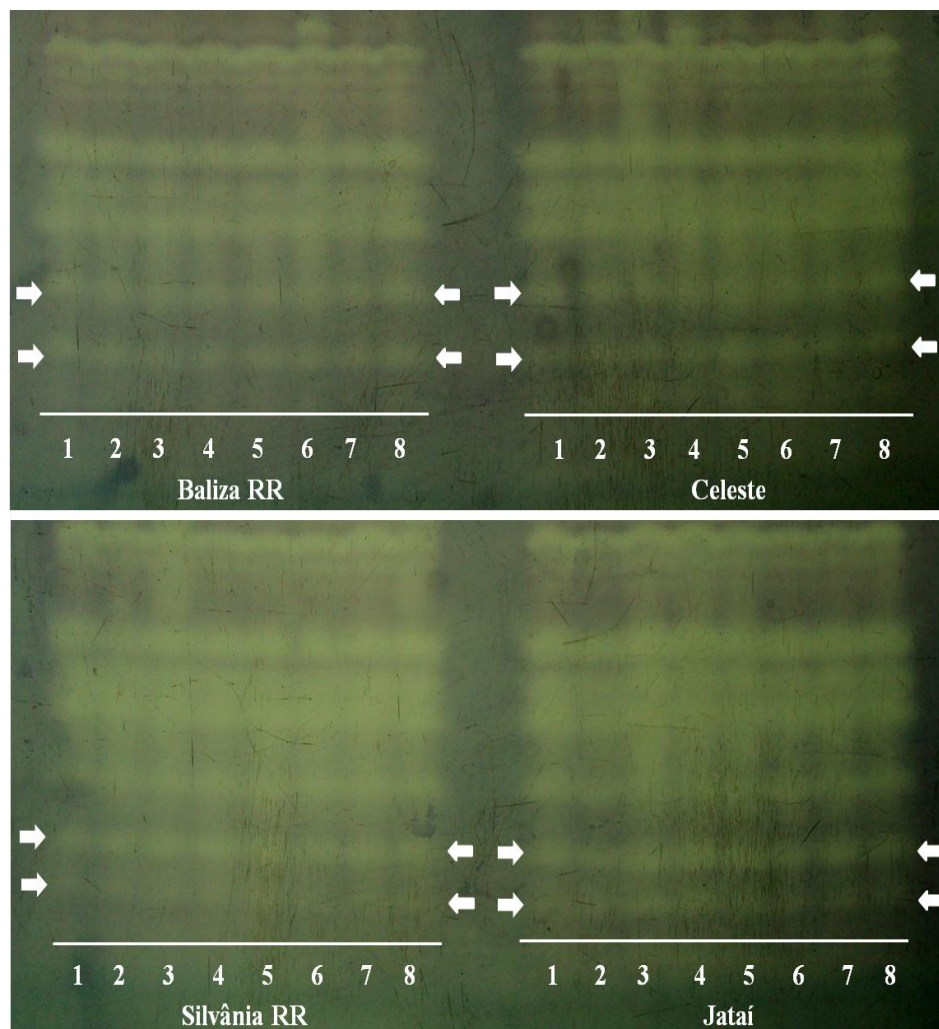


Figura 18 Padrões enzimáticos de sementes de soja das cultivares Baliza RR e Celeste, Silvânia RR e Jataí produzidas sob diferentes doses e estádios de aplicação de Mn foliar, revelados para superóxido dismutase (SOD). Sendo: 1(0, R1), 2(0, R3), 3 (200, R1), 4 (200, R3), 5(400, R1), 6 (400, R3), 7 (600, R1) e 8 (600 g Mn ha<sup>-1</sup> em R3)

Para as sementes das cultivares Celeste e Jataí houve uma maior expressão com as doses 200 e 400 g Mn ha<sup>-1</sup>, já para sementes de Baliza RR e Silvânia RR, além dos tratamentos com as doses 200 e 400 g Mn ha<sup>-1</sup>, este

incremento foi verificado principalmente quando as plantas foram submetidas à aplicação de Mn na dosagem  $600 \text{ g Mn ha}^{-1}$  (Figura 18). Com a aplicação de  $600 \text{ g Mn ha}^{-1}$  foram observados sintomas visuais de fitotoxicidade nas folhas, Figura 5, o que pode estar relacionado à maior atividade da SOD nesta dosagem, visto que esta atua na conversão de radicais livres de  $\text{O}_2^-$  a  $\text{H}_2\text{O}_2$  e  $\text{O}_2$  (MAGALHÃES, 2002).

A ação dos sistemas enzimáticos é relevante no processo de desintoxicação celular, pois converte os produtos potencialmente tóxicos das espécies reativas de oxigênio (EROs). Dentre estes sistemas antioxidantes estão superóxido dismutase (SOD) e peroxidase (PRX). A atuação destes sistemas enzimáticos é capaz de remover, neutralizar ou limpar os radicais livres do interior das células. Algumas enzimas podem neutralizar a ação dos radicais livres, antes que os danos possam ocorrer (NKANG; OMOKARO; EGBE, 2000).

A maior atividade da SOD em sementes de soja em função da aplicação foliar de Mn pode estar associada ao fato desta enzima ser oxidorreductase e poder ligar-se a um composto metálico, dentre eles o Mn, sendo que a Mn-SOD atua na neutralização de superóxidos (RAYCHAUDHURI, 2000). A Mn-SOD para tornar-se ativa necessita do Mn no seu sítio ativo (ALSCHER; ERTURK; HEALTH, 2002). Gonzalez, Steffen e Lynch (1998) relataram resposta positiva da Mn-SOD à toxicidade de Mn. Porém, Magalhães (2002) verificou que aumento no nível de Mn no substrato não incrementou a atividade enzimática da SOD em plantas de soja.

#### **Peroxidase (EC 1.11.1.7; PRX)**

Foram verificadas diferenças entre os padrões enzimáticos de peroxidase (PRX) em função da utilização de Mn foliar em sementes das cultivares Celeste e Silvânia RR (Figura 19). Para a cultivar Celeste, com a aplicação de  $600 \text{ g Mn ha}^{-1}$  no estádio  $R_3$  e para Silvânia RR com a utilização da mesma dose em  $R_1$

foram observadas maiores expressões da PRX. Isto pode estar relacionado à fitotoxidez (Figura 5) observada com a utilização desta dose, pois as plantas respondem ao acréscimo das espécies reativas de oxigênio (EROs) com a aceleração dos processos antioxidantes enzimáticos e não enzimáticos (ALSCHER; ERTURK; HEALTH, 2002). Magalhães (2002) verificou aumento na atividade da PRX em plantas de soja com elevação dos níveis de Mn no substrato, sobretudo em plantas com toxidez. O sistema enzimático peroxidase é relevante entre os sistemas antioxidantes, pois degrada o  $H_2O_2$  formado pela SOD.

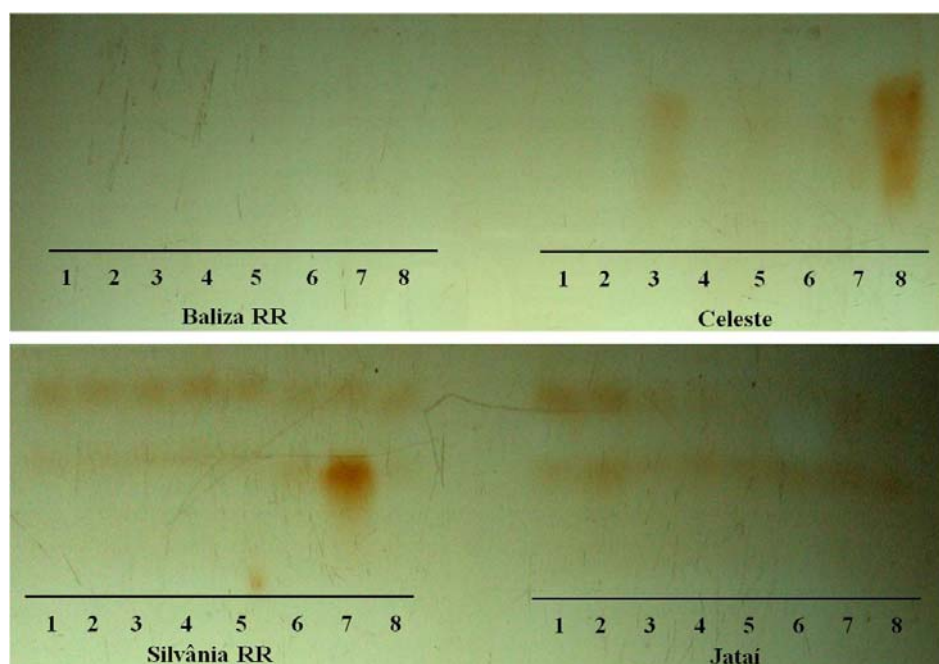


Figura 19 Padrões enzimáticos de sementes de soja das cultivares Baliza RR e Celeste, Silvânia RR e Jataí produzidas sob diferentes doses e estádios de aplicação de Mn foliar, revelados para peroxidase (PRX). Sendo: 1(0, R1), 2(0, R3), 3 (200, R1), 4 (200, R3), 5(400, R1), 6 (400, R3), 7 (600, R1) e 8 (600 g Mn  $ha^{-1}$  em R3)



Uma das maneiras de defesa ao estresse é a oxidação do  $Mn^{+2}$  a  $Mn^{+3}$  *in vivo*, com o objetivo de paralisar os radicais livres. Uma das hipóteses é a peroxidase poder causar oxidação enzimática do Mn (HEWITT; NICHOLAS, 1963), pelo mecanismo  $H_2O_2 + 2 H^+ + 2 Mn^{2+} \rightarrow 2 Mn^{3+} + 2 H_2O$ . Porém, pesquisas suplementares são necessárias no intuito de relacionar estresse em plantas e as alterações bioquímicas nas sementes produzidas.

Entre as cultivares, de modo geral, foram constadas maiores atividades de PRX em sementes de Silvânia RR e Jataí em relação às sementes do par Baliza RR e Celeste (Figura 19). Foi observada qualidade fisiológica inferior em sementes de Silvânia RR e Jataí, o que pode estar associado a uma maior atividade do sistema enzimático PRX devido aos níveis de espécies reativas de oxigênio. Elevadas concentrações de espécies reativas de oxigênio causam danos oxidativos e ocorre, em um primeiro estágio, o incremento nos processos antioxidantes enzimáticos e não enzimáticos para manutenção destas espécies em níveis não tóxicos (ALSCHER; ERTURK; HEALTH, 2002; BEN AMOR et al., 2005; MOLLER; JENSEN; HANSSON, 2007).

#### **Isocitrato liase (EC 4.1.3.1; ICL)**

Em sementes das cultivares Baliza RR, Celeste e Jataí foram constatadas diferenças nos perfis da isocitrato liase (ICL), em relação à aplicação do Mn foliar (Figura 20). Em sementes de Baliza RR e Celeste, maiores atividades foram observadas nos tratamentos com  $600 \text{ g Mn ha}^{-1}$ , em  $R_1$  e  $R_3$ , porém, em sementes de Baliza RR também foi verificado maior atividade em sementes na ausência de aplicação de Mn. Para sementes de Jataí, a exemplo do que foi constatado para Baliza RR e Celeste, a maior expressão de ICL também foi com  $600 \text{ g Mn ha}^{-1}$ , somente em  $R_3$  (Figura 20). Com a aplicação de  $600 \text{ g Mn ha}^{-1}$ , nas sementes da cultivar Jataí foi verificado o maior teor de Mn, seguido de Baliza e Celeste (Tabela 11).

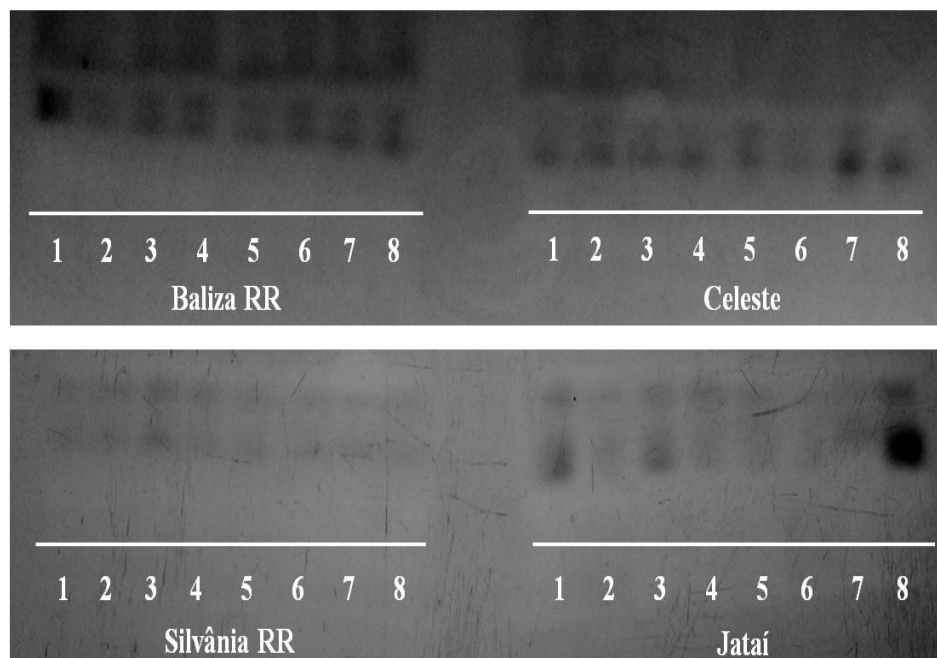


Figura 20 Padrões enzimáticos de sementes de soja das cultivares Baliza RR e Celeste, Silvânia RR e Jataí produzidas sob diferentes doses e estádios de aplicação de Mn foliar, revelados para isocitrato liase (ICL). Sendo: 1(0, R1), 2(0, R3), 3 (200, R1), 4 (200, R3), 5(400, R1), 6 (400, R3), 7 (600, R1) e 8 (600 g Mn ha<sup>-1</sup> em R3)

Entre as cultivares, sementes de Baliza RR e Celeste apresentaram maior atividade de ICL em comparação à Silvânia RR e Jataí, ao considerar todos os tratamentos (Figura 20). Menor expressão desta enzima foi observada em sementes da cultivar Silvânia RR, isto pode estar associado à qualidade fisiológica das sementes, pois, por meio de teste de vigor foi observada menor qualidade fisiológica em sementes desta cultivar. Ao passo que, o inverso foi verificado para sementes de Baliza RR.

A isocitrato liase (ICL) participa do ciclo do glioxilato, nos glioxissomos, envolvida no metabolismo de lipídeos armazenados nas sementes oleaginosas, como é o caso da soja. A atividade desta enzima aumenta durante a germinação das sementes, obtendo-se valores máximos quando ocorre o pico de

lipídeos degradados que são convertidos em sacarose (BEWLEY; BLACK, 1994). Martins et al. (2000) constataram a importância da ICL e do ciclo do glioxilato para o processo germinativo em sementes de soja e também maior atividade da ICL em sementes da cultivar Doko em relação à CAC-1. Vale ressaltar que sementes da cultivar Doko tendem a apresentar alta qualidade fisiológica (BRACCINI et al.,1994; BRACCINI et al.,1998; COSTA, 1986).

#### **4.5 Qualidade das sementes após armazenamento**

Quanto à qualidade fisiológica das sementes de soja produzidas sob adubação foliar com Mn, após 6 meses de armazenamento em condição ambiente, verifica-se por meio da análise de variância (Tabela 5A), que em relação à fonte de variação cultivar houve efeito significativo para germinação, índice de velocidade de emergência e condutividade elétrica. Para o fator doses houve diferença significativa apenas para germinação, já para estágio de aplicação não houve significância em nenhuma variável analisada. As interações cultivar\*estádio e dose\*estádio foram significativas para germinação e cultivar\*estádio para condutividade elétrica (Tabela 5A).

Em relação à qualidade sanitária das sementes de soja após o armazenamento, os fungos encontrados nas sementes após o armazenamento foram *Cercospora kikuchii*, *Fusarium* spp., *Phomopsis* sp., e os fungos tidos como de armazenamento, *Aspergillus* spp. e *Penicillium* spp. De acordo com a análise de variância (Tabela 6A), verifica-se que as incidências de todos os fungos encontrados nas sementes diferiram estatisticamente entre as cultivares. As doses e os estádios de aplicação foliar de Mn afetaram significativamente somente a incidência de *Aspergillus* spp. Interações significativas foram verificadas para as incidências de *Fusarium* spp. e *Aspergillus* spp. Quanto à *Fusarium* spp. as interações significativas foram cultivar\*dose, cultivar\*estádio

e cultivar\*dose\*estádio, para *Aspergillus* spp. foram constatados efeitos significativos para todas as interações (Tabela 6A).

### **Germinação**

Em relação à interação cultivar\*estádio, com a aplicação do Mn foliar no estágio R<sub>3</sub> as sementes das cultivares Celeste e Baliza RR com médias de germinação (1<sup>o</sup> contagem) 86 e 84%, respectivamente, foram superiores à Jataí (82%) e Silvânia RR (80%). Com a aplicação no estágio R<sub>1</sub>, o resultado verificado foi semelhante, com Celeste (88%) e Baliza RR (86%) com maiores médias em relação às demais, Silvânia RR (80%) e Jataí (75%) que diferiram entre si. O que se alinha, em parte, ao observado antes do armazenamento, que a cultivar Baliza RR apresentou média superior às demais, porém, Celeste não diferiu de Jataí e Silvânia RR (Tabela 5).

Mesmo após o armazenamento, as cultivares, convencional e derivada transgênica RR, com menores teores de lignina no tegumento, Celeste e Baliza RR, apresentaram maiores médias de germinação em relação ao outro par, Jataí e Silvânia RR, com maior teor de lignina (Tabela 12).

Trabalhando, dentre outros, com os mesmos pares de cultivares de soja, Gris et al. (2010) verificaram com o retardamento da colheita, maiores médias de germinação para Celeste e Baliza RR, em relação a Jataí e Silvânia RR. Baldoni (2010) verificou que houve correlação baixa e negativa entre o teor de lignina e a germinação das sementes. Dantas (2012) constatou que sementes com baixo teor de lignina têm maior potencial germinativo, mesmo após o armazenamento por até 180 dias. Dados semelhantes foram verificados por Botelho (2012). Desta maneira observa-se que o teor mais elevado de lignina não implica em melhor qualidade e que a tendência à alta qualidade das sementes de uma determinada cultivar esteja possivelmente relacionada a outros fatores intrínsecos ao genótipo, se fazendo necessárias mais pesquisas neste sentido.

Entre os estádios de aplicação do Mn em cada uma das cultivares de soja, a única diferença foi detectada na cultivar Jataí, com média superior para a aplicação realizada em R<sub>3</sub> com 82%, em relação a R<sub>1</sub> com 75%.

Por meio dos resultados da interação dose\*estádio (Figura 21), verifica-se efeito linear das doses de Mn foliar quando aplicadas em R<sub>1</sub> e quadrático quando em R<sub>3</sub>, sobre a germinação das sementes.

Quando o Mn foliar foi aplicado no estágio R<sub>1</sub>, a germinação média sem a utilização do micronutriente foi 79%, ao passo que, com o advento da aplicação do Mn foliar o percentual de germinação aumentou, atingindo 81; 84 e 86%, para 200; 400 e 600 g Mn ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 21). Reafirmando a relação do Mn no aumento da germinação das sementes de soja. Com a aplicação realizada no estágio R<sub>3</sub>, na dose 0 g Mn ha<sup>-1</sup> o valor médio foi 79%, mas em sementes produzidas com a utilização do Mn a porcentagem de germinação foi maior, alcançando 86 e 87% quando foram aplicadas as doses 200 e 300 g Mn ha<sup>-1</sup>, sendo o valor máximo, 87,5%, proporcionado pela dose 323,94 g Mn ha<sup>-1</sup>, a partir desta dose os efeitos foram decrescentes (Figura 21).

Uma possibilidade para o comportamento diferencial entre R<sub>1</sub>, início do florescimento, e R<sub>3</sub>, início da formação da vagem, seria a proximidade dos estádios de aplicação do Mn foliar com o acúmulo de reservas nas sementes. Pois devido à aplicação em R<sub>3</sub> ser mais próxima ao enchimento das sementes, uma quantidade maior do micronutriente possivelmente translocou-se até as sementes, atingindo desta maneira a concentração máxima do Mn para o efeito positivo na germinação, sendo que, após esta os efeitos foram negativos (Figura 21). Ao passo que, com aplicação em R<sub>1</sub> o efeito foi linear. Observação esta que corrobora com o verificado no subitem 4.3 Composição química das sementes, quanto ao teor de Mn nas sementes, pois foi verificado maior teor do micronutriente nas sementes cuja aplicação foi realizada em R<sub>3</sub> (24,31 ppm de Mn) em relação a R<sub>1</sub> (23,43 ppm de Mn).

Desta forma fica evidente a importância da nutrição mineral com Mn, via foliar, para o aumento da germinação das sementes de soja produzidas, visto que este incremento também foi verificado antes do armazenamento.

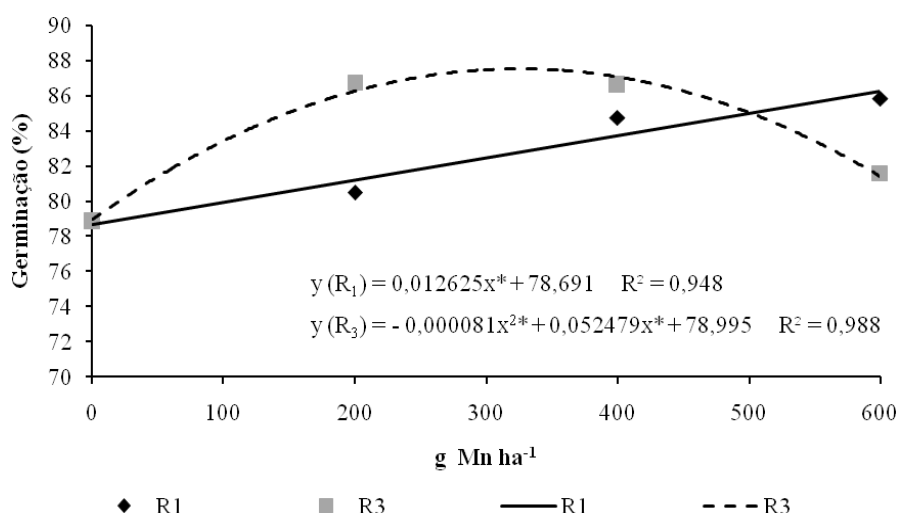


Figura 21 Equação de regressão para germinação de sementes de soja, porcentagem de plântulas normais aos 5 dias, após o armazenamento, em função de doses de Mn foliar aplicadas às plantas produtoras em diferentes estádios de desenvolvimento. \*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F

Em ambos os estádios, na ausência da aplicação de Mn foliar, as sementes após seis meses de armazenamento em condições ambientes, com germinação média 79% (Figura 21), estariam com germinação abaixo do padrão mínimo exigido para comercialização de sementes de soja no Brasil, 80% (BRASIL, 2005). Mas com o advento da utilização de Mn foliar, as germinações das sementes estariam acima deste padrão, o que evidencia a importância da nutrição mineral com Mn. Estes incrementos não foram verificados por Melarato et al. (2002), mas constatados por Mann et al. (2002), tanto com Mn via solo ou foliar, mas com maior eficiência da aplicação foliar.

Em relação aos estádios de aplicação em função das doses de Mn foliar, as diferenças significativas foram com as doses 200 e 600 g Mn ha<sup>-1</sup>. Com 200 g Mn ha<sup>-1</sup>, a germinação média observada em R<sub>3</sub>, 87%, foi superior à verificada em R<sub>1</sub>, 81%. Porém, esta situação se inverteu com 600 g Mn ha<sup>-1</sup>, sendo a média constatada em R<sub>1</sub>, 86%, maior que a observada em R<sub>3</sub>, 82%.

### **Envelhecimento acelerado**

Para o vigor das sementes de soja, avaliado por meio do teste de envelhecimento acelerado, não foi verificado efeito significativo de qualquer das fontes de variação. A média geral de germinação após o envelhecimento foi de 89%, mesmo após o armazenamento das sementes (Tabela 5A).

Quanto à nutrição com Mn, Melerato et al. (2002) não verificaram efeitos sobre o vigor (envelhecimento acelerado). Todavia, Mann et al. (2002) constataram com a utilização de Mn, médias superiores de germinação das sementes após o envelhecimento acelerado. Mas em ambos os trabalhos, as sementes não foram armazenadas.

### **Porcentagem de emergência**

Não houve diferença entre as cultivares, doses de Mn foliar e estádios de aplicação para a porcentagem de emergência de plântulas normais aos 14 dias sob condições controladas (Tabela 5A). Isto pode estar associado ao longo período de condução do teste, em que as sementes permaneceram sob condições hídricas e térmicas adequadas. Este tempo e estas condições favorecem que sementes de distintas qualidades fisiológicas, mesmo inferiores, consigam emergir. Fato evidenciado pela alta média de emergência, 97% (Tabela 5A), mesmo após seis meses de armazenamento em armazém convencional.

### **Índice de velocidade de emergência (IVE)**

O índice de velocidade de emergência (IVE) variou entre as cultivares, sendo o maior valor verificado para plântulas da cultivar Baliza RR (14,0197), superior às de Celeste, de Silvânia RR e de Jataí, que diferiram entre si (Tabela

13). O que corrobora com o observado antes do armazenamento, quanto à diferença de vigor entre os genótipos.

Tabela 13 Índice de velocidade de emergência (IVE) de plântulas de cultivares de soja, após o armazenamento das sementes

Cultivares	IVE*
Baliza RR	14,0197 a
Celeste	13,3072 b
Silvânia RR	12,6655 c
Jataí	11,9637 d

\*Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott

Componente este importante para o vigor das sementes de soja, visto que, sementes com maior IVE tendem a apresentar melhor desempenho e, conseqüentemente, maior velocidade de emergência no campo de cultivo, com isto, resistindo melhor a estresses que possam ocorrer durante a emergência (DAN et al., 2010).

#### **Condutividade elétrica**

Em se tratando da interação cultivar\*estádio, Tabela 14, quando as aplicações se deram no estágio R<sub>1</sub> as sementes da cultivar Baliza RR apresentaram maior vigor, com menor valor de condutividade elétrica, em relação às demais, que diferiram entre si. Com as aplicações realizadas em R<sub>3</sub>, a menor condutividade elétrica, maior vigor, também foi observada nas sementes de Baliza RR, distinta de Celeste, cujos valores foram inferiores aos obtidos nas sementes das cultivares Jataí e Silvânia RR.

De um modo geral, quanto à diferença entre as cultivares, Tabela 14, sementes da cultivar Baliza RR apresentaram valores de condutividade elétrica sempre inferiores, seguidos de Celeste e posteriormente de Jataí e Silvânia RR com maiores valores. Esta verificação corrobora com as distintas qualidades fisiológicas das sementes observadas entre as cultivares, quanto à germinação e



IVE. Baliza RR apresentou sementes de melhor qualidade fisiológica, seguida de Celeste, e superiores à Jataí e Silvânia RR, demonstrando assim a relação entre a menor condutividade elétrica, consequência de membranas mais organizadas e assim menores quantidades de lixiviados liberados para o meio externo, e a maior qualidade fisiológica das sementes.

O maior vigor das sementes das cultivares Baliza RR e Celeste em relação à Jataí e Silvânia RR, mesmo após o armazenamento, independe do teor de lignina no tegumento das sementes das mesmas. Reiterando a observação da relação da qualidade fisiológica das sementes e fatores inerentes a cada genótipo, não relacionados ao teor de lignina no tegumento das sementes.

A única diferença estatística entre os estádios de aplicação nas cultivares, para condutividade elétrica, foi constatada na cultivar Baliza RR, com o valor em R<sub>1</sub> inferior ao verificado em R<sub>3</sub> (Tabela 14).

Tabela 14 Condutividade elétrica ( $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ ) de sementes de cultivares de soja produzidas com aplicação de Mn foliar em diferentes estádios, após o armazenamento

Estádio	Baliza RR	Celeste	Jataí	Silvânia RR
R <sub>1</sub>	59,48 Aa	70,35 Ba	74,31 Ca	78,69 Da
R <sub>3</sub>	64,87 Ab	70,19 Ba	73,82 Ca	75,96 Ca

\*Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott

Os valores de condutividade elétrica para sementes de soja com alto vigor devem estar no máximo até 70-80  $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ , no entanto, com tendência a apresentarem médio vigor (VIEIRA; KRZYZANOWSKI, 1999). Em todas as cultivares os valores verificados estavam abaixo de 80  $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ , mesmo após o armazenamento, porém, é interessante salientar que na cultivar Silvânia RR, cuja sementes apresentaram o menor vigor, os valores foram próximos a 80  $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$  (Tabela 14). Isto reforça a observação, de que com condutividades próximas a este valor as sementes apresentam forte tendência ao médio vigor.

Na cultivar Baliza RR, cujo vigor foi alto, os valores de condutividade elétrica foram próximos a  $60 \mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$ , o que corrobora com o verificado antes do armazenamento, sugerindo desta maneira que valores abaixo ou próximos a  $60 \mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$  possam estar associados somente às sementes com alto vigor.

Panobianco et al. (1999) verificaram valores mais altos de condutividade elétrica em sementes de soja com baixo teor de lignina no tegumento. Porém, esta relação não foi observada na presente pesquisa, visto que nas sementes das cultivares Baliza RR e Celeste cujos valores de condutividade elétrica foram menores (Tabela 14), também foram constatados os menores teores de lignina no tegumento em relação à Jataí e Silvânia RR (Tabela 12).

### Teste de sanidade

#### *Cercospora kikuchii*

Foram verificadas diferenças nas incidências de *Cercospora kikuchii* entre as sementes das cultivares de soja, após o armazenamento. O menor valor foi constatado em Baliza RR, 7,75%, em relação às demais, que não diferiram entre si (Tabela 15). Fato este, que pode ter contribuído para a melhor qualidade obtida pelas sementes desta cultivar, nos testes fisiológicos.

A aplicação de Mn foliar não afetou a incidência de *Cercospora kikuchii* nas sementes produzidas, após o armazenamento.

Tabela 15 Incidência (%) de *Cercospora kikuchii* (Cer.), *Phomopsis* sp. (Pho.) e *Penicillium* spp. (Pen.) em sementes de diferentes cultivares de soja, após o armazenamento

Cultivares	Cer.*	Pho.*	Pen.*
Baliza RR	7,75 a	9,00 b	4,33 b
Celeste	12,00 b	9,25 b	1,16 a
Jataí	11,41 b	11,66 b	2,16 a
Silvânia RR	11,25 b	5,08 a	3,25 b

\*Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott. As médias originais foram apresentadas, mas os dados foram comparados em função dos dados transformados (Transformação em  $\sqrt{x + 1}$ )

***Fusarium spp.***

Os efeitos das doses do micronutriente foram significativos nas cultivares Celeste e Baliza RR, genótipos derivados, com a aplicação foliar do Mn realizada no estágio R<sub>1</sub> (Figura 22 a).

Em Baliza RR, a tendência da incidência de *Fusarium spp.* em função das doses de Mn foliar foi linear, com relação inversa, quanto maior a dose do micronutriente utilizada menor foi a incidência do fungo. Sem a aplicação do Mn a incidência foi 9,69%, ao passo que, com a utilização de 200 g Mn ha<sup>-1</sup> este valor caiu para 6,51%, atingindo o mínimo, 1,89%, com 600 g Mn ha<sup>-1</sup>, Figura 22 a.

Para Celeste, o modelo que se ajustou aos dados foi o de terceiro grau (Figura 22 a), partindo de 2,20% na dose 0 g Mn ha<sup>-1</sup> e alcançando a incidência mínima (0,51%) com a dose 402,50 g Mn ha<sup>-1</sup>. Antes do armazenamento, as incidências de *Fusarium spp.* em Baliza RR e Celeste também foram influenciadas pelas doses do Mn foliar, com menores incidências em função das maiores doses, Figura 12. O que demonstra desta maneira a relação entre a aplicação do Mn foliar e a incidência de *Fusarium spp.* em sementes de soja produzidas, principalmente em se tratando destas cultivares.

Já com a aplicação de Mn no estágio R<sub>3</sub>, Figura 22 b, somente nas sementes da cultivar Jataí houve significância na utilização do Mn foliar na incidência de *Fusarium spp.* O efeito foi quadrático, sendo a incidência mínima 0,61% proporcionada pela aplicação da dose 203,09 g Mn ha<sup>-1</sup>, reafirmando o efeito da nutrição com Mn na incidência de *Fusarium spp.* Porém, a partir desta dose, os efeitos da aplicação foliar de Mn foram inversos, com aumento da incidência juntamente com a dose Mn foliar.

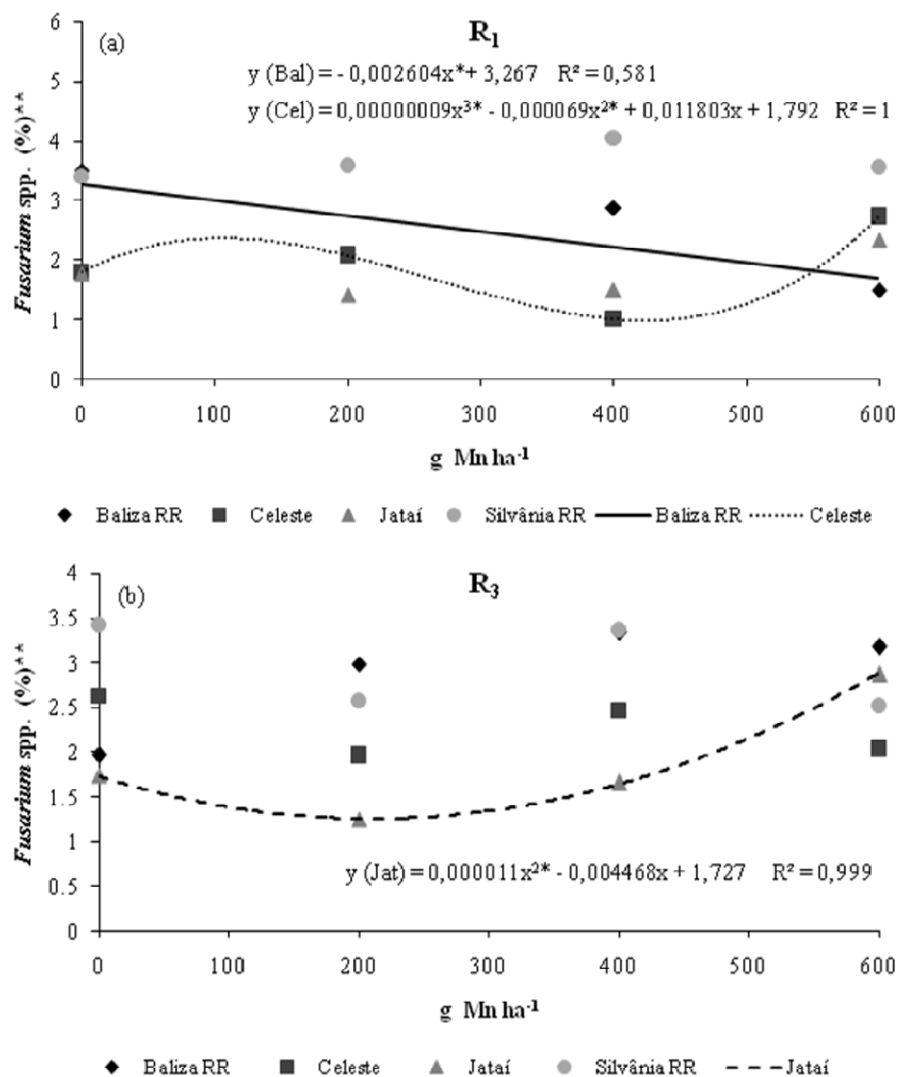


Figura 22 Equação de regressão para incidência de *Fusarium* spp. em sementes de soja após o armazenamento, em função de doses de Mn foliar aplicadas às plantas produtoras em diferentes estádios e cultivares. \*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, \*\* transformados em  $\sqrt{x+1}$

Entre as cultivares em função das doses de Mn foliar e estádios de aplicação, estas diferiram em todas as doses com a aplicação realizada em R<sub>1</sub> (Tabela 16). Na ausência de Mn foliar, as maiores incidências de *Fusarium* spp. foram observadas nas cultivares Baliza RR e Silvânia RR. Com a aplicação do Mn foliar, em todas as doses, foram verificadas maiores incidências de *Fusarium* spp. nas sementes da cultivar Silvânia RR, o que provavelmente contribuiu para menor qualidade fisiológica constatada nas mesmas.

Com a aplicação no estádio R<sub>3</sub>, as diferenças entre as cultivares foram significativas com as doses 0, 200 e 400 g Mn ha<sup>-1</sup> (Tabela 16), com sementes de Silvânia RR sempre entre às de maior incidência de *Fusarium* spp., o que se alinha ao verificado em R<sub>1</sub> e que favoreceu a depreciação da qualidade das suas sementes.

Tabela 16 Incidência (%) de *Fusarium* spp. em sementes de diferentes cultivares de soja em função dos estádios de aplicação e doses de Mn foliar, após o armazenamento

Estádios	Cultivares	Doses de Mn foliar*							
		0	200	400	600				
R <sub>1</sub>	Baliza RR	11,33	b	4,00	a	8,00	b	1,33	a
	Celeste	2,66	a	4,00	a	0,00	a	6,66	a
	Jataí	3,33	a	1,33	a	1,33	a	4,66	a
	Silvânia RR	10,66	b	12,0	b	15,33	c	12,0	b
R <sub>3</sub>	Baliza RR	3,33	a	8,66	b	10,66	b	9,33	a
	Celeste	6,00	b	3,33	a	5,33	a	3,33	a
	Jataí	2,00	a	0,66	a	2,00	a	7,33	a
	Silvânia RR	10,66	b	6,00	b	10,66	b	5,33	a

\*Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott. As médias originais foram apresentadas, mas os dados foram comparados em função dos dados transformados (Transformação em  $\sqrt{x+1}$ )

Quanto aos estádios de aplicação em função de cada cultivar e dose de Mn foliar, as diferenças significativas foram constatadas em Baliza RR nas doses 0 e 600 g Mn ha<sup>-1</sup>, sendo que na ausência da aplicação de Mn a incidência foi maior em R<sub>1</sub> (11,33%) em relação a R<sub>3</sub> (3,33%). Porém, com a utilização de

600 g Mn ha<sup>-1</sup> foi verificado o inverso, com incidência média para R<sub>3</sub> (9,33%) mais elevada do que para R<sub>1</sub> (1,33%). Diferenças também foram verificadas na cultivar Celeste quando foi aplicado 400 g Mn ha<sup>-1</sup>, com a incidência observada em R<sub>1</sub> (0,00%) inferior à verificada em R<sub>3</sub> (5,33%).

Quando houve significância entre as incidências de *Fusarium* spp. em função dos estádios, com a utilização de Mn foliar, as incidências foram menores nas aplicações realizadas em R<sub>1</sub>.

#### ***Phomopsis* sp.**

A incidência de *Phomopsis* sp. nas sementes de soja, após o armazenamento, foi influenciada estatisticamente em função das cultivares. Sendo a menor incidência verificada nas sementes da cultivar Silvânia RR, Tabela 15. Apesar desta menor incidência de *Phomopsis* sp. nas sementes de Silvânia RR, após o armazenamento, este fato não refletiu indiretamente na qualidade das mesmas, visto que, nesta cultivar foi constatada, no geral, menor qualidade fisiológica.

#### ***Aspergillus* spp.**

Em relação às doses de Mn foliar, com a aplicação realizada em R<sub>1</sub>, não houve diferença significativa em nenhuma das cultivares. Porém, com a aplicação em R<sub>3</sub>, as doses de Mn proporcionaram incidências de *Aspergillus* spp. distintas em Baliza RR e Silvânia RR. Em ambas as cultivares a tendência dos dados foi quadrática, Figura 23.

Para as duas cultivares as incidências, quando não foi aplicado o Mn foliar, foram elevadas, sendo os valores 65,58% e 29,58% para Baliza RR e Silvânia RR, respectivamente, Figura 23. Mas com a aplicação de Mn foliar as incidências diminuíram consideravelmente, atingindo já com a dose 200 g Mn ha<sup>-1</sup>, em Baliza RR e Silvânia RR as médias 13,98% e 5,5%, respectivamente. As incidências mínimas, 2,49% e 2,13%, foram proporcionadas pelas doses

457,91 e 366,19 g Mn ha<sup>-1</sup> nas cultivares Baliza RR e Silvânia RR, respectivamente.

A incidência de *Aspergillus* spp. em sementes de soja, após o armazenamento, pode ser amenizada em razão da aplicação de Mn foliar às plantas produtoras e possivelmente relacionada ao teor do micronutriente nas sementes.

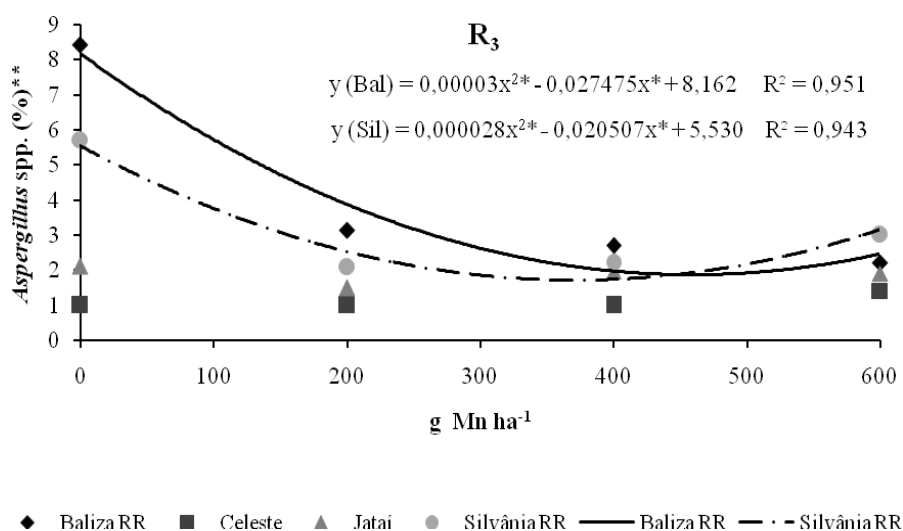


Figura 23 Equação de regressão para incidência de *Aspergillus* spp. em sementes de soja após o armazenamento, em função de doses de Mn foliar aplicadas às plantas produtoras de diferentes cultivares no estágio R<sub>3</sub>. \*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, \*\* transformados em  $\sqrt{x+1}$

As cultivares diferiram quando a aplicação se deu em R<sub>1</sub> dentro das doses 200 e 400 g Mn ha<sup>-1</sup>, sendo que em ambas foram verificadas as menores incidências de *Aspergillus* spp. (0%) nas sementes da cultivar Celeste, Tabela 17. Salienta-se que nesta cultivar foi constatado o menor teor de lignina no tegumento das sementes (Tabela 12), nas demais cujos teores de lignina foram mais elevados as incidências de *Aspergillus* spp. também foram mais altas, o que

leva a inferir que maior teor de lignina no tegumento das sementes de soja não resulta em maior resistência ao *Aspergillus* spp. Este fato corrobora com o constatado por Dantas (2012), que maior teor de lignina em tegumento de sementes de soja não promove maior resistência aos fungos de armazenamento *Aspergillus flavus* e *Penicillium* spp.

Observação esta também verificada quando a aplicação foi realizada em R<sub>3</sub>, as incidências foram distintas entre as cultivares somente na dose 0 g Mn ha<sup>-1</sup>. Celeste e Jataí com incidências menores em relação à Silvânia RR, seguida de Baliza RR, Tabela 17. Nas sementes da cultivar Celeste, menor teor de lignina, a incidência de *Aspergillus* spp. foi 0%, ao passo que nas sementes de Silvânia RR, maior teor de lignina (Tabela 12), este valor foi de 32%. Com a utilização do Mn foliar, os valores iniciais verificados para Baliza RR e Silvânia RR, considerados elevados, decresceram e se igualaram aos das demais cultivares.

Tabela 17 Incidência (%) de *Aspergillus* spp. em sementes de diferentes cultivares de soja em função dos estádios de aplicação e doses de Mn foliar, após o armazenamento

Estádios	Cultivares	Doses de Mn foliar*			
		0	200	400	600
R <sub>1</sub>	Baliza RR	9,33 a	15,00 b	6,66 b	2,66 a
	Celeste	0,00 a	0,00 a	0,00 a	1,33 a
	Jataí	9,33 a	0,66 a	12,00 b	2,66 a
	Silvânia RR	4,66 a	7,33 b	10,66 b	2,00 a
R <sub>3</sub>	Baliza RR	70,00 c	12,00 a	7,33 a	4,00 a
	Celeste	0,00 a	0,00 a	0,00 a	1,33 a
	Jataí	4,00 a	1,33 a	3,33 a	3,33 a
	Silvânia RR	32,00 b	3,33 a	4,00 a	8,00 a

\*Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott. As médias originais foram apresentadas, mas os dados foram comparados em função dos dados transformados (Transformação em  $\sqrt{x+1}$ )

O Mn está ligado à resistência das plantas às doenças fúngicas, e algumas possíveis causas do efeito benéfico do micronutriente são relatadas por Malavolta (2006), dentre elas a lignificação e inibição direta. Está relacionada à



lignificação por meio da ativação de enzima ligada a via do ácido chiquímico, resultando na produção de lignina. A inibição direta é devida a exigência maior de Mn pela planta, 100 vezes a do fungo, sendo assim, a elevação da concentração do Mn disponível pode resultar em toxidez para o fungo.

As incidências de *Cercospora kikuchii* e de *Fusarium* spp. nas sementes de soja antes do armazenamento (Figuras 11 e 12), de *Fusarium* spp. e de *Aspergillus* spp. após o armazenamento (Figuras 22 e 23), diminuíram em função do aumento da dose aplicada de Mn foliar, de maneira geral. O teor de lignina não foi modificado em função do Mn foliar, somente distinto entre as cultivares (Tabela 4A), mas o teor de Mn nas sementes foi alterado com a aplicação do micronutriente foliar, sendo em geral verificada maiores concentrações de Mn nas sementes produzidas com a aplicação foliar do micronutriente em relação a não utilização do mesmo (Figura 14). Isto sustenta a inferência que a inibição direta em relação à lignificação, possa ter contribuído mais na relação constatada entre Mn e alguns fungos nas sementes de soja. Contudo, pesquisas complementares são necessárias neste sentido.

#### ***Penicillium* spp.**

O fungo verificado em menor incidência nas sementes, após o armazenamento, foi *Penicillium* spp. com valor médio 2,72%, Tabela 6A. As incidências foram distintas estatisticamente somente entre as cultivares. Em Baliza RR e Silvânia RR foram constatadas médias superiores em relação à Jataí e Celeste, Tabela 15.

Silvânia RR, cultivar com maior teor de lignina no tegumento das sementes (Tabela 12), foi designada entre as cultivares com maior incidência de *Penicillium* spp. Ao passo que Celeste, cujo teor de lignina foi o menor, a incidência de *Penicillium* spp. foi menor (Tabela 15). O que corrobora com o observado e discutido anteriormente para o outro fungo de armazenamento, *Aspergillus* spp., e também com os resultados obtidos por Dantas (2012).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Indagações têm sido geradas em relação à cultura da soja em assuntos que envolvem nutrição mineral com Mn, teor de lignina no tegumento, soja transgênica RR e qualidade das sementes. Por meio dos trabalhos até o momento publicados, de modo geral, verificou-se que ainda não há consenso em alguns pontos, como: Nutrição mineral com Mn e a produção, a qualidade e o teor de lignina nas sementes; acúmulo e resposta ao Mn e a produção e deposição de lignina em soja transgênica RR em relação à convencional; a associação entre teor de lignina no tegumento das sementes de soja e a qualidade das mesmas.

Neste âmbito, por meio desta pesquisa, foi possível observar que resposta positiva à aplicação do Mn pode estar condicionada ao genótipo e não à modificação genética RR para tolerância ao glifosato, visto que somente um par de cultivares (Convencional e transgênica RR) respondeu positivamente à aplicação de Mn foliar e o outro não. Os aumentos de produtividade foram nas cultivares Celeste e Baliza RR, em solo com teor de Mn abaixo do nível crítico ( $8,0 \text{ mg dm}^{-3}$ ), e produtividades máximas obtidas com doses próximas a  $150 \text{ g Mn ha}^{-1}$ , com a aplicação de doses superiores os efeitos foram negativos sobre a produtividade. Quanto aos estádios de aplicação, as maiores produtividades foram verificadas com a aplicação do Mn foliar em  $R_1$  em comparação às realizadas em  $R_3$ .

Tanto antes quanto após o armazenamento, em geral, nas sementes das cultivares Celeste e Baliza RR foram constatadas melhores qualidades fisiológicas em relação às de Jataí e Silvânia RR, mesmo que nestas últimas foram verificados maiores teores de lignina no tegumento das sementes. Apenas o teor de lignina no tegumento das sementes de soja pode não ser um indicativo suficiente para inferência da possível qualidade das sementes de uma cultivar, sendo a qualidade das sementes relacionada a outros fatores intrínsecos ao

genótipo. Pesquisas adicionais se fazem necessárias no sentido de esclarecer tal relação, frente à importância da seleção de genótipos com alta qualidade de sementes.

Foram verificadas melhores qualidades fisiológicas nas sementes produzidas com aplicação foliar de Mn, quando a dose utilizada foi adequada, nos testes em geral, os melhores resultados foram obtidos com doses inferiores a 300 g Mn ha<sup>-1</sup>. Doses mais elevadas são desnecessárias e têm efeito negativo sobre a qualidade fisiológica das sementes. Para a qualidade sanitária das sementes, quando o efeito das doses de Mn foliar foi significativo, as incidências de *Cercospora kikuchii*, *Fusarium* spp. e *Aspergillus* spp. diminuíram com a utilização deste micronutriente via foliar.

Além de escassas, as diferenças observadas entre os estádios de aplicação de Mn foliar, R<sub>1</sub> e R<sub>3</sub>, em se tratando da qualidade das sementes de soja, não foram consistentes o bastante a ponto de sustentar a inferência de um estádio mais adequado de aplicação visando o incremento da qualidade.

A relação entre o Mn e a formação e o acúmulo de lignina relatada por alguns autores, não foi constatada no presente estudo, neste caso em se tratando de Mn aplicado via foliar e teor de lignina no tegumento das sementes de soja produzidas, apesar do micronutriente translocar até as sementes, alterando os teores de Mn nas mesmas.

A exemplo de outros trabalhos, também foram verificados maiores teores de lignina nas cultivares transgênicas RR em relação às suas convencionais, sendo nesta pesquisa quantificado no tegumento das sementes de soja.

As atividades de algumas enzimas nas sementes de soja foram influenciadas pela aplicação foliar de Mn, desta forma corroborando com trabalhos, cuja ativação enzimática é relatada como uma das funções do Mn. Também foram constatadas diferenças características entre perfis enzimáticos

em sementes de cultivares de soja que apresentaram distintas qualidades fisiológicas, fato este que pode auxiliar em estudos posteriores, principalmente, quanto à relação genótipo e qualidade de sementes. Em sementes das cultivares que apresentaram melhor qualidade fisiológica, Celeste e Baliza RR, foram constatadas maiores expressões das enzimas álcool desidrogenase e isocitrato liase e menores expressões de malato desidrogenase e de peroxidase, em relação às cultivares com sementes de qualidade fisiológica inferior, Jataí e Silvânia RR.

## 6 CONCLUSÕES

A transgenia RR em soja não proporciona conclusivamente maior resposta à aplicação de Mn, sendo esta possivelmente condicionada ao genótipo.

Há aumento na produtividade de sementes de soja das cultivares Celeste e Baliza RR em função da aplicação foliar de Mn.

A aplicação foliar de Mn realizada em R<sub>1</sub> resulta em maior produtividade de sementes em relação à R<sub>3</sub>.

Sementes das cultivares Celeste e Baliza RR apresentam melhor qualidade fisiológica quando comparadas às de Jataí e Silvânia RR.

A aplicação foliar de Mn proporciona incrementos na qualidade fisiológica e menores incidências de *Cercospora kikuchii*, *Fusarium* spp. e *Aspergillus* spp. nas sementes de soja produzidas.

O Mn aplicado via foliar, R<sub>1</sub> ou R<sub>3</sub>, transloca até as sementes, mas não afeta o teor de lignina no tegumento das mesmas.

Os teores de lignina no tegumento das sementes de soja são inferiores nas cultivares convencionais, Celeste e Jataí, em relação às suas derivadas transgênicas RR, Baliza RR e Silvânia RR.

Sementes de cultivares de soja com maiores teores de lignina no tegumento não apresentam necessariamente melhor qualidade fisiológica.

A expressão das enzimas superóxido dismutase, peroxidase, esterase e isocitrato liase em sementes de soja são influenciadas pela aplicação de Mn via foliar, independente do estágio de aplicação.

A maior ou menor expressão de enzimas envolvidas na oxidação ou no metabolismo de reserva está associada à qualidade fisiológica das sementes de distintos genótipos de soja.

## REFERÊNCIAS

- AGBO, G. N. et al. Seed microstructure and its relationship to water in isogenic lines and a cultivar of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.) **Food Microstructure**, Chicago, v. 6, p. 91-102, 1987.
- ALFENAS, A. C. (Ed.). **Eletroforese e marcadores bioquímicos em plantas e microrganismos**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. 627 p.
- ALSCHER, R. G.; ERTURK, N.; HEALTH, L. S. Role of superoxide dismutases (SODs) in controlling oxidative stress in plants. **Journal of experimental Botany**, Lancaster, v. 53, n. 372, p. 1331-1341, 2002.
- ALVAREZ, P. J. C. **Relação entre o conteúdo de lignina no tegumento da semente de soja e sua relação ao dano mecânico**. Londrina: FUEL, 1994. 43 p.
- ANDRADE, G. J. M.; ROSOLEM, C. A. Absorção de manganês em soja RR sob efeito do glifosate. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, n. 3, p. 961-968, 2011.
- ASCOLI, A. A.; SORATTO, R. P.; MARUYAMA, W. I. Aplicação foliar de molibdênio, produtividade e qualidade fisiológica de sementes de feijoeiro irrigado. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 2, p. 377-384, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE SEMENTES E MUDAS. **Anuário 2011: agricultura sem fronteiras**. Pelotas: Becker & Peske, 2011a. 86 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE SEMENTES E MUDAS. **Estatísticas**. 2011b. Disponível em: <<http://www.abrasem.com.br>>. Acesso em: 19 mar. 2011.
- ÁTILA, M. R. et al. Adubação potássica em canola e seu efeito no rendimento e na qualidade fisiológica e sanitária das sementes. **Acta e Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 26, n. 4. p. 475-481, 2004.
- BACIU-MICLAUS, D. Contributions to the study of hrd seed and coat structures properties of soybeans. **Proceedings of the Association of Official Seed Analysts**, Lincoln, v. 35, p. 599-617, 1970.

BALDONI, A. **Análises fisiológicas, ultraestruturais e expressão gênica de lignina em sementes de soja**. 2010. 63 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

BARBER, M. S.; RIDE, J. P. A quantitative assay for induced lignification in wounded wheat leaves and its use to survey potential elicitors of the response. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, East Lansing, v. 32, p.185-197, 1988.

BARRETT, K. A.; MCBRIDE, M. B. Oxidative degradation of glyphosate and aminomethylphosphonate by manganese oxide. **Environmental Science & Technology**, Iowa, v. 39, p. 9223-9228, 2005.

BASSO, C. J. et al. Aplicação foliar de manganês em soja transgênica tolerante ao glyphosate. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 10, p. 1726-1731, out. 2011.

BASU, R. N. Seed viability. In: BASRA, A. S. **Seed quality**: basic mechanisms and agricultural implications. New York: The Haworth, 1995. p. 1-42.

BELLALOU, N. Soybean seed phenol, lignin, and isoflavones and sugars composition altered by foliar boron application in soybean under water stress. **Food and Nutrition Sciences**, Bologna, v. 3, n. 4, p. 579-590, 2012.

BEN AMOR, N. et al. Physiological and antioxidant responses of the perennial halophyte *Crithmum maritimum* to salinity. **Plant Science**, Davis, v. 168, p. 889-899, 2005.

BERNARD, R. L.; CHAMBERLAIN, D. W.; LAWRECE, R. D. (Ed.). **Results of the cooperative uniform soybean tests**. Washington: USDA, 1965. 134 p.

BERNARDS, M. L. et al. Glyphosate interaction with manganese in tank mixtures and its effect on glyphosate absorption and translocation. **Weed Science**, Champaign, v. 53, p. 787-794, 2005.

BERTOLIN, D. C. et al. Aumento da produtividade de soja com a aplicação de bioestimulantes. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 2, p. 339-347, 2010.

BEWLEY, J. D.; BLACK, M. **Seeds physiology of development and germination**. New York: Plenum, 1994. 445 p.

BOTELHO, F. J. E. **Qualidade de sementes de soja com diferentes teores de lignina obtidas de plantas submetidas à dessecação**. 2012. 85 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

BOTT, S. et al. Glyphosate-induced impairment of plant growth and micronutrient status in glyphosate-resistant soybean (*Glycine max* L.). **Plant Soil**, Dordrecht, v. 312, n. 1/2, p. 185-194, Nov. 2008.

BRACCINI, A. L. et al. Avaliação da qualidade fisiológica e sanitária da semente de genótipos de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) com diferentes graus de impermeabilidade do tegumento. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 16, n. 2, p. 195-200, 1994.

BRACCINI, A. L. et al. Influência do potencial hídrico induzido por polietilenoglicol na qualidade fisiológica de sementes de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 9, p. 1451-1459, set. 1998.

BRASIL. Instrução normativa n. 25, de 16 de dezembro de 2005. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 20 dez. 2005. Seção 1, n. 243, p. 23.

BRASIL. Ministério da Agricultura e da Reforma Agrária. Departamento Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas: 1961-1990**. Brasília, 1992. 84 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 2009. 395 p.

BRINGEL, J. M. M. et al. Qualidade sanitária e fisiológica de sementes de soja produzidas na região de Balsa, Maranhão. **Summa Phytopathologica**, Piracicaba, v. 27, p. 438-441, 2001.

BURNELL, J. N. The biochemistry of manganese in plants. In: GRAHAM, R. D.; HANNAM, R. J.; UREN, N. C. (Ed.). **Manganese in soils and plants**. Dordrecht: Kluwer, 1988. p.125-137.

CALDWELL, C. R.; BRITZ, S. J.; MIRECKI, R. M. Effect of temperature, elevated carbon dioxide, and drought during seed development on the isoflavone content of dwarf soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] grown in controlled environments. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 53, n. 4, p. 1125-1129, 2005.



CAMOZZATO, V. A. et al. Desempenho de cultivares de soja em função do tamanho das sementes. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 31, n. 1, p. 288-292, 2009.

CAPELETI, I. et al. A new procedure for quantification of lignin in soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) seed coat and their relationship with the resistance to mechanical damage. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 33, p. 511-515, 2005.

CARBONELL, S. A. M.; KRZYZANOWSKI, F. C.; KASTER, M. Avaliação do “teste de queda” para seleção de genótipos de soja com semente resistente ao dano mecânico. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 14, n. 2, p. 215-219, 1992.

CARBONELL, S. A. M.; KRZYZANOWSKI, F. C. The pendulum test for screening soybean genotypes for seeds resistance to mechanical damage. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 23, n. 2, p. 331-339, 1995.

CARBONELL, S. A. M. **Metodologias para seleção de genótipos de soja com semente com resistente ao dano mecânico**. 1991. 103 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 1991.

CARDOSO, P. C. et al. Armazenamento em sistema a frio de sementes de soja tratadas com fungicida. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 26, n. 1, p. 15-23, 2004.

CARVALHO, E. R. et al. Diagnose foliar e produtividade da soja, em razão de doses e tecnologias de manufatura de fertilizantes formulados NPK. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 7, n. 3, p. 402-408, 2012.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4. ed. Jaboticabal: Funep, 2000. 588 p.

CARVALHO, T. C. et al. Comparação da qualidade fisiológica de sementes de soja convencional e de sua derivada transgênica. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 34, n. 1 p. 164-170, 2012.

CASTRO, C. A. S. **Produção de n-hexanal e aldeídos totais como índices para avaliar a qualidade fisiológica de sementes de soja (*Glycine max* (L.) Merrill)**. 1989. 141 p. Tese (Doutorado em Agricultura) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1989.

CATANEO, A. C. et al. Atividade de superóxido dismutase em plantas de soja (*Glycine max* L.) cultivadas sob estresse oxidativo causado por herbicida. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Maringá, v. 4, n. 2, p. 23-31, 2005.

COGHLAN, A. **Splitting headache**: Monsanto's modified soya beans are cracking up in the heat. Saint Louis: Monsanto, 1999. Disponível em: <<http://www.mindfully.org/GE/Monsanto-RR-Soy-Cracking.htm>>. Acesso em: 22 jan. 2012.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos, oitavo levantamento**. 2012. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&t=2>>. Acesso em: 22 maio 2012.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos, quarto levantamento**. 2013. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&t=2>>. Acesso em: 16 jan. 2013.

CORREIA, N. M.; DURIGAN, J. C. Glyphosate e adubação foliar com manganês na cultura da soja transgênica. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 27, n. 4, p. 721-727, 2009.

COSTA, A. F. S. **Avaliação da qualidade fisiológica das sementes de genótipos de soja (*Glycine max* (L.) Merrill), produzidas em cinco localidades de Estado de Minas Gerais**. 1986. 110 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1986.

COSTA, N. P. et al. Efeito da colheita mecânica da soja nas características físicas, fisiológicas e químicas das sementes em três estados do Brasil. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 23, n. 1, p. 140-145, jan./fev. 2001.

COSTA, N. P. et al. Qualidade fisiológica, física e sanitária de sementes de soja produzidas no Brasil. **Revista Brasileira de sementes**, Londrina, v. 25, n. 1, p. 128-132, 2003.

DAN, L. G. M. et al. Qualidade fisiológica de sementes de soja tratadas com inseticidas sob efeito do armazenamento. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 32, n. 2, p. 131-139, 2010.

DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G.; FERREIRA, E. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1862-1866, nov./dez. 2007.

DANTAS, I. B. **Influência do teor da lignina na qualidade e armazenabilidade de sementes de soja inoculadas com *Aspergillus flavus* e *Penicillium* sp.** 2012. 110 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 327-354.

DELOUCHE, J. C. Seed quality, and storage of soybeans. In: WHIGRUM, D. K. (Ed.). **Soybean production, protection and utilization**. Urbana: University of Illinois, 1975. p. 86-107. (Intsoy, 6).

DEMITO, A.; AFONSO, A. D. L. Qualidade das sementes de soja resfriadas artificialmente. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 17, n. 1, p. 7-14, jan./fev. 2009.

DOMENE, M. P. **Fatores determinantes de descartes de sementes de soja (*Glycine max* L. Merrill) produzidas no Estado de Minas Gerais**. 1992. 56 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1992.

DUANGPATRA, J. J. **Some characteristics of the impermeable seed coat in soybean (*Glycine max* Merrill)**. 1976. 91 f. Dissertation (Ph.D) - Mississippi State University, Mississippi, 1976.

EGG MENDONÇA, C. V. C. **Caracterização química e enzimática de famílias de feijões obtidas do cruzamento das linhagens Amarelinho e CI – 107**. 2001. 48 p. Dissertação (Mestrado em Agrobioquímica) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA . **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Tecnologias de produção de soja: região central do Brasil 2012 e 2013**. Londrina, 2011. 262 p. (Sistemas de Produção, 15).

ESAU, K. **Anatomia das plantas com sementes**. São Paulo: E. Blucher, 1976. 293 p.

- FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 183 p.
- FEHR, W. R. et al. Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. **Crop Science**, Madison, v. 11, n. 6, p. 929-931, Nov./Dec. 1971.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- FRANÇA NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F. C.; COSTA, N. P. **O teste de tetrazólio em sementes de soja**. Londrina: EMBRAPA-CNPSO, 1998. 72 p. (Documentos, 116).
- FRANÇA NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F. C. Estratégias do melhoramento para produção de sementes de soja no Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE ATUALIZAÇÃO EM GENÉTICA E MELHORAMENTO DE PLANTAS, 7., 2003, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 2003. 1 CD ROM.
- GERTZ, J. M.; VENCILL, W. K.; HILL, N. S. Tolerance of transgenic soybean (*Glycine max*) to heat stress. In: BRIGHTON CROP PROTECTION CONFERENCE, 3., 1999, Brighton. **Proceedings...** Brighton: BCP, 1999. p. 835-840.
- GLORIA, B. A.; GUERREIRO, S. M. C. **Anatomia vegetal**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2006.
- GONÇALVES, R. A. et al. Controle de *Rhizopertha Dominica* pela atmosfera controlada com CO<sub>2</sub> em trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 1, p. 1-9, 2000.
- GONZALEZ, A.; STEFFEN, K. L.; LYNCH, J. P. Light and excess manganese. Implications for oxidative stress in common bean. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 118, n. 2, p. 493-504, 1998.
- GORDON, B. Manganese nutrition of glyphosate-resistant and conventional soybeans. **Better Crops**, Georgia, v. 91, n. 4, p. 12-13, 2007.
- GOULART, A. C. P. et al. **Viabilidade técnica do tratamento de sementes de soja com fungicidas antes do armazenamento**. Dourados: EMBRAPA-CPAO, 1999. 41 p.

GOULART, A. C. P. **Fungos em sementes de soja: detecção e importância.** Dourados: EMBRAPA CPAO, 1997. 57 p.

GRAHAM, R. D. Effect of nutrient stress on susceptibility of plants to disease with particular reference to the trace elements. **Advances in Botanical Research**, London, v. 10, p. 221-276, 1983.

GRAHAM, R. D.; WEBB, M. J. Micronutrientes and disease resistance and tolerance in plants. In: MORTVEDT, J. J. (Ed.). **Micronutrients in Agriculture**. Madison: Soil Science Society of America, 1991. p. 329-369.

GRIS, C. F. et al. Qualidade fisiológica e teor de lignina no tegumento de sementes de soja convencional e transgênica RR submetidas a diferentes épocas de colheita. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 2, p. 374-381, mar./abr. 2010.

GRIS, C. F. **Qualidade fisiológica de sementes de soja convencional e RR associada ao conteúdo de lignina.** 2009. 134 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

HAMAWAKI, O. T. et al. Avaliação da qualidade fisiológica e sanitária de sementes de genótipos de soja do ciclo precoce/médio em Uberlândia, Minas Gerais. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 27, p. 201-205, 2002.

HARRINGTON, J. F. Seed storage and longevity. In: KOSLOWSKI, T. T. (Ed.). **Seed biology**. New York: Academic, 1972. p. 145-245.

HARTWIG, E. E.; POTTS, H. C. Development and evaluation of impermeable seed coats for preserving soybean seed quality. **Crop Science**, Madison, v. 27, n. 3, p. 506-508, 1987.

HENNING, A. A.; YUYAMA, M. M. Levantamento da qualidade sanitária de sementes de soja produzidas em diversas regiões do Brasil, entre as safras 1992/93 e 1996/97. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 21, n. 1, p. 18-26, jan./mar. 1999.

HEWITT, E. J.; NICHOLAS, D. J. D. Metabolic inhibitors. In: HOCHSTER, R. M.; UASTEL, J. H. (Ed.). **Metabolic inhibitors a comprehensive treatise**. New York: Academic, 1963. v. 1.

HILL, H. J.; WEST, S. H.; HINSON, K. Soybean seed size influences expression of the impermeable seed coat trait. **Crop Science**, Madison, v. 26, n. 3, p. 634-637, 1986.

HUBER, D. M. et al. Induced manganese deficiency in GM soybeans. In: Induced manganese deficiency in GM soybeans. NORTH CENTRAL EXTENSION-INDUSTRY SOIL FERTILITY CONFERENCE, 34., 2004, Des Moines. **Proceedings...** Brookings: IPNI, 2004. p. 80-83.

HUBER, D. M. **What about glyphosate-induced manganese deficiency?** 2007. Disponível em: <[www.fluidfertilizer.com/PastArt/pdf/58P20-22.pdf](http://www.fluidfertilizer.com/PastArt/pdf/58P20-22.pdf)>. Acesso em: 11 fev. 2011.

IMOLESI, A. S. et al. Influência da adubação nitrogenada na qualidade fisiológica das sementes de milho. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 5, p.1119-1126, 2001.

JACOB NETO, J.; ROSSETTO, C. A. V. Concentração de nutrientes nas sementes: o papel do molibdênio. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 5, n. 1, p. 171-183, 1998.

KILEN, T. C.; HARTWIG, E. E. An inheritance study of impermeable seed in soybeans. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 1, n. 1, p. 65-70, Jan. 1978.

KIRKBY, E. A.; RÖMHELD, V. Micronutrientes na fisiologia de plantas: funções, absorção e mobilidade. Encarte técnico. **Informações Agrônomicas**. Piracicaba, n. 118, p. 12-15, jun. 2007.

KOLCHINSKI, E. M.; SCHUCH, L. O. B.; PESKE, S. T. Crescimento inicial de soja em função do vigor das sementes. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 12, n. 2, p. 163-166, 2006.

KOLCHINSKI, E. M.; SCHUCH, L. O. B.; PESKE, S. T. Seeds vigor and intra-specific competition in soybean. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 6, p. 1248- 256, 2005.

KRZYZANOWSKI, F. C. et al. Evaluation of lignin content of soybean seed coat stored in a controlled environment. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 30, n. 2, p. 220-223, 2008.

KUIPER, H. A. et al. Assessment of the food safety issues related to genetically modified foods. **The Plant Journal**, Oxford, v. 27, n. 6, p. 503-528, 2001.

LAVRES JUNIOR, J. et al. Influência genotípica na absorção e na toxidez de manganês em soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 1, p. 173-181, 2008.

LIMA, W. F. et al. Interação genótipo-ambiente de soja convencional e transgênica resistente a glifosato, no Estado do Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 6, p. 729-736, 2008.

LOECKER, J. L. et al. Manganese Response in Conventional and Glyphosate Resistant Soybean. **Agronomy Journal**, Madison, v. 102, n. 2, p. 606-611, 2010.

LOPES, J. C. et al. Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de soja produzidas em Alegre-ES. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 24, n. 1, p. 51-58, 2002.

MAGALHÃES, G. C. **Análise da atividade de algumas enzimas antioxidantes em plantas de soja (Glycine Max L. Merr.) sob níveis de manganês, em função da micorriza arbuscular**. 2002. 102 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2002.

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

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional da planta: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.

MANN, E. N. et al. Efeito da aplicação de manganês no rendimento e na qualidade de sementes de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 12, p. 1757-1764, 2002.

MARCOS FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado. In: KRZYŻANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. cap. 3., p. 1-24.

- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd ed. San Diego: Academic, 1995. 889 p.
- MARTINS, C. A. O. et al. Atividade da isocitrato-liase durante a germinação de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 22, n. 1, p. 42-46, 2000.
- MCDUGALL, G. J. et al. Plant cell walls as dietary fibre: range, structure, processing and function. **Journal Science Food Agriculture**, London, v. 70, n. 2, p. 133-150, Apr. 1996.
- MELARATO, M. et al. Manganês e potencial fisiológico de sementes de soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 6, p. 1069-1071, 2002.
- MENEZES, M. de et al. Aspectos químicos e estruturais da qualidade fisiológica de sementes de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 12, p. 1716-1723, dez. 2009.
- MERTZ, L. M.; HENNING, F. A.; ZIMMER, P. D. Bioprotetores e fungicidas químicos no tratamento de sementes de soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 1, p. 13-18, jan./fev. 2009.
- MILANI, G. L. et al. Aplicação foliar de molibdênio durante a maturação de sementes de soja, **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 4, p. 810-816, jul./ago. 2010.
- MINOR, H. C.; PASCHAL, E. H. Variation in storability of soybeans under simulated tropical conditions. **Seed Science and Technology**, Zürich, v. 10, p. 131-139, 1982.
- MINUZZI, A. et al. Qualidade de sementes de quatro cultivares de soja, colhidas em dois locais no estado de Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 32, n. 1, p. 176-185, 2010.
- MOLLER, I. M.; JENSEN, P. E.; HANSSON, A. Oxidative modifications to cellular components in plants. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 58, p. 459-481, 2007.
- MONDO, V. H. V. et al. Spatial variability of soil fertility and its relationship with seed physiological potential in a soybean production area. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 34, n. 2, p. 193-201, 2012.



NEERGAARD, P. **Seed pathology**. 2nd ed. London: MacMillan, 1979. v. 1, 839 p.

NKANG, A.; OMOKARO, D.; EGBE, A. Effects of desiccation on the lipid peroxidation and activities of peroxidase and polyphenoloxidase in seeds of *Telfairia occidentalis*. **Seed Science and Technology**, Zürich, v. 28, n. 1, p. 1-9, 2000.

NODARI, R. O.; DESTRO, D. **Relatório sobre a situação de lavouras de soja da região de Palmeira das Missões, RS, safra 2001/2002, cultivadas com cultivares convencionais e com cultivares transgênicas**. Disponível em: <<http://www.agirazul.com.br/123/noticias/000000a3.htm>>. Acesso em: 20 jan. 2011.

OLIVEIRA, J. A. et al. Comportamento de sementes de milho colhidas por diferentes métodos, sob condições de armazém convencional. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 23, n. 2, p. 289-302, 1999.

PANOBIANCO, M. et al. Electrical conductivity of soybean seed and correlation with seed coat lignin content. **Seed Science and Technology**, Zürich, v. 27, n. 3, p. 945-949, 1999.

PANOBIANCO, M. **Variação na condutividade elétrica de sementes de diferentes genótipos de soja e relação com o conteúdo de lignina no tegumento**. 1997. 59 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1997.

PEREIRA, E. B. C.; PEREIRA, A. V.; FRAGA, A. C. Qualidade de sementes de cultivares precoces de soja produzidas em três épocas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília v. 35, p. 1653-1662, 2000.

PESKE, S. T.; PEREIRA, L. A. G. Tegumento da semente de soja. **Tecnologia de Sementes**, Pelotas, v. 6, n. 1/2, p. 23-34, jun. 1983.

POSSENTI, J. C.; VILLELA, F. A. Efeito do molibdênio aplicado via foliar e via sementes sobre o potencial fisiológico e produtividade de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 32, n. 4, p. 143 - 150, 2010.

RAYCHAUDHURI, S. S. The role of superoxide dismutase in combating oxidative stress in higher plants. **The Botanical Review**, New York, v. 66, p. 89-98, 2000.

RENGEL, Z.; GRAHAM, R. D. Importance of seed Zn content for wheat growth on Zn-deficient soil. II. Grain yield. **Plant and soil**, Netherlands, v. 173, p. 267-274, 1995.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359 p.

RICE-EVANS, C. A.; DIPLOCK, A.T.; SYMONS, M. C. R. **Techniques in free radical research**. Amsterdam: Elsevier Science, 1991. v. 22, 291p.

RITCHIE, S. W. et al. **How a soybean plant develops**. Ames: Iowa State University of Science, 1997. 20 p. (Special Report, 53).

RÖMHELD, V.; MARSCHNER, H. Functions of micronutrients in plants. In: MORTVEDT, J. J. (Ed.). **Micronutrients in agriculture**. Madison: Soil Science Society of America, 1991. p. 297-328.

ROSOLEM, C. A. et al. Manganese uptake and redistribution in soybeans as affected by glifosate. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, n. 6, p. 1915-1922, nov./dez. 2010.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, Washington, v. 30, p. 507-512, Sept. 1974.

SCHEEREN, B. R. et al. Qualidade fisiológica e produtividade de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 32, n. 3, p. 35-41, 2010.

SCHUCH, L. O. B.; NEDEL, J. L.; ASSIS, F. N. Crescimento em laboratório de plântulas de aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb.) em função do vigor das sementes. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 21, n. 1, p. 229-234, 1999.

SILVA, D. J. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. Viçosa, MG: UFV, 1981. 166 p.

SILVEIRA, J. V. F.; RESENDE, L. M. Estratégias de mercado no agronegócio paranaense: soja convencional vs. Transgênica. **Produção**, São Paulo, v. 20, n. 1, p. 54-65, jan./mar. 2010.

STEFANELLO, F. F. et al. Efeito de glyphosate e manganês na nutrição e produtividade da soja transgênica. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 3, p. 1007-1014, jul/set. 2011.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Energy and Enzymes. In: \_\_\_\_\_. **Plant physiology**. 4th ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2006. chap. 2, p. 1-22.

TAVARES, D. Q. et al. Características estruturais do tegumento de sementes permeáveis e impermeáveis de linhagens de soja. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 10, n. 1, p. 147-153, jan./mar. 1987.

TOLEDO, M. Z. et al. Qualidade fisiológica e armazenamento de sementes de feijão em função da aplicação tardia de nitrogênio em cobertura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, n. 2, p. 124-133, abr./jun. 2009.

VANZOLINI, S.; CARVALHO, N. M. Efeito do vigor de sementes de soja sobre o seu desempenho em campo. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 24, n. 1, p. 33-41, 2002.

VASCONCELOS, E. S. et al. Análise não-paramétrica da sanidade de sementes e índices de eliminação e classificação de genótipos de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 3, p. 341-348, mar. 2008.

VEIGA, A. D. et al. Influência do potássio e da calagem na composição química, qualidade fisiológica e na atividade enzimática de sementes de soja. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 4, p. 953-960, jul./ago. 2010.

VIEIRA, R. D.; KRZYZANOWSKI, F. C. Teste de condutividade elétrica. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. cap. 4, p. 1-26.

VIEIRA, R. D. Teste de condutividade elétrica. In: VIEIRA, R. D.; CARVALHO, N. M. (Ed.). **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP, 1994. p. 103-132.

WIRIGLYR, C. W.; DU CROS, D. L.; MOSS, H. J. et al. Effect of sulfur deficiency on wheat availability. In: \_\_\_\_\_. **Sulfur in agriculture**. Washington: The Sulfur Institute, 1984. p. 2-7.

ZHANG, M. et al. A mechanism of seed deterioration in relation to volatile compounds evoked by dry seeds themselves. **Seed Science Research**, Wellingford, v. 4, n. 1, p. 49-56, Mar. 1994.

ZOBIOLE, L. H. S. et al. Glyphosate affects lignin content and amino acid production in glyphosate-resistant soybean. **Acta Physiologiae Plantarum**, Heidelberg, v. 32, n. 5, p. 831- 837, 2010a.

ZOBIOLE, L. H. S. et al. Glyphosate reduces shoot concentrations of mineral nutrients in glyphosate -resistant soybeans. **Plant Soil**, Dordrecht, v. 328, n. 1/2, p. 57-69, 2010b.

ZONETTI , P. C. et al. Growth and root lignification of susceptible and glyphosate-resistant soybean. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 2, p. 291-295, 2011.

## ANEXO

## ANEXO A - TABELAS

Tabela 1A Resumo da análise de variância dos resultados de índice de acamamento (I.A.), número de legumes por planta (Leg./pl.), peso de mil sementes (P1000) e produtividade (Prod.), de cultivares de soja que receberam doses de Mn foliar em diferentes estádios

Fonte de variação	GL	Quadrados médios			
		I.A. <sup>1</sup>	Leg./pl.	P 1000	Prod.
Cultivar (C)	3	0,1301	2417,8573*	322,9724*	2431277,5823*
Dose (D)	3	0,0299	2570,3639*	65,0850	564806,1477*
Estádio (E)	1	0,0041	22,5234	0,4634	398746,9942
Bloco	2	0,0914	592,4188	141,9743	1331789,3190
C*D	9	0,0625	352,6027*	52,2018	323865,4530
C*E	3	0,0360	102,6942	19,5220	125143,2263
D*E	3	0,0488	179,1714	30,6216	74546,2313
C*D*E	9	0,0198	125,8819	16,6991	509929,3247*
Resíduo	62	0,0502	116,0255	51,5134	178897,6130
CV (%)		11,20	10,64	4,57	10,39
Média <sup>2</sup>	3		101,19	156,89	4071,67

\*Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F (p<0,05).

<sup>1</sup>Análise de variância com dados transformados em  $\sqrt{x+1}$ .

<sup>2</sup>Média original, sem transformação em  $\sqrt{x+1}$ .

Tabela 2A Resumo da análise de variância dos resultados das avaliações antes do armazenamento: Germinação (%G), envelhecimento acelerado (EA), porcentagem de emergência (%E), índice de velocidade de emergência (IVE) e condutividade elétrica (CE), em sementes de cultivares de soja, oriundas de plantas que receberam doses de Mn foliar em diferentes estádios

FV	GL	Quadrados médios				
		%G	EA	%E	IVE	CE
Cultivar (C)	3	86,343*	49,788*	6,277	10,096*	571,969*
Dose (D)	3	66,038*	4,7604	1,694	0,425	17,729
Estádio (E)	1	49,593	25,010	0,375	0,001	4,407
Bloco	2	13,260	8,666	7,010	1,503*	51,510
C*D	9	17,677	22,890	2,046	0,388	123,934*
C*E	3	9,788	39,788	0,819	0,031	13,762
D*E	3	27,093	1,315	1,236	0,787	14,752
C*D*E	9	9,695	7,427	2,717	0,720*	57,915
Resíduo	62	13,056	14,763	2,386	0,287	33,444
CV (%)		3,99	4,19	1,58	4,25	9,96
Média		90	92	98	12,62	58,06

\*Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F (p<0,05).

Tabela 3A Resumo da análise de variância dos resultados das avaliações antes do armazenamento: Viabilidade (Vb), vigor (Vg) e danos mecânicos (DM) pelo teste de Tetrazólio, e sanidade com a incidência de *Cercospora kikuchii* (Cer.), *Fusarium* spp. (Fus.) e *Phomopsis* sp. (Pho.), em sementes de cultivares de soja, oriundas de plantas que receberam doses de Mn foliar em diferentes estádios

FV	GL	Quadrados médios					
		Vb	Vg	DM <sup>1</sup>	Cer. <sup>1</sup>	Fus. <sup>1</sup>	Pho. <sup>1</sup>
Cultivar (C)	3	4,722	4,111	4,22*	0,552	0,492	2,83*
Dose (D)	3	17,83*	58,55*	18,77*	0,380	1,15*	1,359
Estádio (E)	1	16,66*	8,166	0,111	0,295	0,126	0,252
Bloco	2	5,541	29,54*	0,329	0,447	0,177	0,148
C*D	9	1,796	5,111	0,95*	1,21*	0,87*	1,70*
C*E	3	0,333	10,277	0,130	0,210	0,396	1,151
D*E	3	0,555	5,833	0,930	0,616	0,215	0,763
C*D*E	9	4,222	8,537	0,623	0,385	0,339	0,341
Resíduo	62	3,219	7,176	0,386	0,520	0,245	0,659
CV (%)		1,83	2,76	19,76	20,13	33,77	27,33
Média <sup>2</sup>		98,29	96,91	10,06	12,39	1,50	8,63

\*Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F (p<0,05).

<sup>1</sup>Análise de variância com dados transformados em  $\sqrt{x+1}$ .

<sup>2</sup>Médias originais, sem transformação em  $\sqrt{x+1}$ .

Tabela 4A Resumo da análise de variância dos teores de manganês nas sementes inteiras (Mn) e lignina no tegumento (LT), em sementes de cultivares de soja, oriundas de plantas que receberam doses de Mn foliar em diferentes estádios

FV	GL	Quadrados médios	
		Mn	LT
Cultivar (C)	3	55,2428*	0,3795*
Dose (D)	3	38,3120*	0,0025
Estádio (E)	1	18,2876*	0,0022
Bloco	2	4,8519	0,1322*
C*D	9	25,0527*	0,0026
C*E	3	2,5959	0,0021
D*E	3	5,9701	0,0042
C*D*E	9	5,0754	0,0006
Resíduo	62	2,9047	0,0046
CV (%)		7,14	14,63
Média		23,8739	0,465518

\*Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F (p<0,05).

Tabela 5A Resumo da análise de variância dos resultados das avaliações após o armazenamento: Germinação (%G), envelhecimento acelerado (EA), porcentagem de emergência (%E), índice de velocidade de emergência (IVE) e condutividade elétrica (CE), em sementes de cultivares de soja, oriundas de plantas que receberam doses de Mn foliar em diferentes estádios

FV	GL	Quadrados médios				
		%G	EA	%E	IVE	CE
Cultivar (C)	3	372,305*	34,736	8,288	18,554*	1022,540*
Dose (D)	3	202,861*	3,680	8,260	0,776	21,878
Estádio (E)	1	22,041	20,166	0,093	0,001	5,915
Bloco	2	27,010	0,697	1,166	1,784	43,921
C*D	9	49,037	34,523	4,334	0,642	41,886
C*E	3	102,902*	30,083	4,315	1,605	71,461*
D*E	3	113,625*	11,916	3,343	0,889	47,574
C*D*E	9	24,523	32,314	2,751	1,003	20,091
Resíduo	62	24,429	18,912	6,672	0,761	21,217
CV (%)		5,96	4,91	2,66	6,72	6,49
Média		83	89	97	12,98	70,96

\*Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F ( $p < 0,05$ ).

Tabela 6A Resumo da análise de variância dos resultados das avaliações após o armazenamento: Sanidade com a incidência de *Cercospora kikuchii* (Cer.), *Fusarium* spp. (Fus.), *Phomopsis* sp. (Pho.), *Aspergillus* spp. (Asp.) e *Penicillium* spp. (Pen.), em sementes de cultivares de soja, oriundas de plantas que receberam doses de Mn foliar em diferentes estádios

FV	GL	Quadrados médios				
		Cer. <sup>1</sup>	Fus. <sup>1</sup>	Pho. <sup>1</sup>	Asp. <sup>1</sup>	Pen. <sup>1</sup>
Cultivar (C)	3	2,078*	10,505*	4,585*	24,435*	2,700*
Dose (D)	3	0,440	0,593	1,360	8,109*	0,739
Estádio (E)	1	0,715	0,052	1,213	5,052*	0,378
Bloco	2	0,124	1,602*	0,064	1,136	0,744
C*D	9	1,103	0,992*	1,547	4,094*	0,491
C*E	3	1,342	1,499*	0,271	3,493*	0,372
D*E	3	0,107	0,339	0,241	9,197*	1,276
C*D*E	9	0,448	1,457*	1,587	3,520*	0,709
Resíduo	62	0,674	0,426	0,787	1,119	0,607
CV (%)		24,89	26,45	30,02	45,03	44,64
Média <sup>2</sup>		10,60	6,04	8,75	7,44	2,72

\*Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F ( $p < 0,05$ ).

<sup>1</sup>Análise de variância com dados transformados em  $\sqrt{x + 1}$ .

<sup>2</sup>Médias originais, sem transformação em  $\sqrt{x + 1}$ .