



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

THIAGO FURLAN

**CULTIVO DE SOJA CONVENCIONAL E TRANSGÊNICA:
DINÂMICA DO ZINCO NO SOLO E NA PLANTA**

Londrina
2015

THIAGO FURLAN

**CULTIVO DE SOJA CONVENCIONAL E TRANSGÊNICA:
DINÂMICA DO ZINCO NO SOLO E NA PLANTA**

Dissertação apresentada ao programa Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Adônis Moreira.

Londrina
2015

**Catálogo elaborado pela Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central da
Universidade Estadual de Londrina.**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

F985c Furlan, Thiago.

Cultivo de soja convencional e transgênica : dinâmica do zinco no solo e na planta / Thiago Furlan. – Londrina, 2015.
59 f. : il.

Orientador: Adônis Moreira.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2015.

Inclui bibliografia.

1. Soja – Teses. 2. Plantas transgênicas – Teses. 3. Herbicidas – Teses. 4. Ureídeos – Teses. 5. Solos – Teor de zinco – Teses. I. Moreira, Adônis. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDU 631.52:633.34

THIAGO FURLAN

**CULTIVO DE SOJA CONVENCIONAL E TRANSGÊNICA:
DINÂMICA DO ZINCO NO SOLO E NA PLANTA**

Dissertação apresentada ao programa Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Agronomia.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Adônis Moreira
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dra. Larissa Alexandra Cardoso Moraes
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária -
Embrapa Soja

Prof. Dr. Reges Heinrichs
Universidade Estadual Paulista - UNESP

Londrina, 26 de fevereiro de 2015.

AGRADECIMENTOS

À minha querida esposa por mais uma etapa vencida na minha formação profissional;

À Universidade Estadual de Londrina (UEL), pelo apoio na minha formação profissional;

À Embrapa Soja pelo apoio logístico para realização deste trabalho;

À GDM Licenciamento do Brasil Ltda., pela oportunidade oferecida;

Ao meu orientador, Dr. Adônis Moreira, pelas sugestões, paciência e confiança na orientação;

Aos Professores da UEL pelas sugestões do plano de trabalho e amizade;

À pesquisadora Dra. Larissa Alexandra Cardoso Moraes pelo apoio nas análises;

Aos colegas de pós-graduação pelo apoio, confiança e paciência quando precisei desenvolver essa pesquisa;

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho

FURLAN, Thiago. **Cultivo de soja convencional e transgênica: dinâmica do zinco no solo e na planta.** 2015. 59 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2015.

RESUMO

A aplicação do herbicida glifosato na soja [*Glycine max* (L.) Merrill] geneticamente modificada (GM) em solos com baixos teores de zinco (Zn) pode interferir na absorção do mesmo e de outros nutrientes influenciando negativamente a produtividade. Com o objetivo de estudar os efeitos da interação glifosato e Zn sobre a produção, fotossíntese, fertilidade do solo e estado nutricional da soja foi realizado um experimento em casa de vegetação sobre Neossolo Quartzarênico. Os tratamentos foram constituídos por duas cultivares de soja [BRS 133 (convencional – NGM) e sua essencialmente derivada BRS 245RR (GM) com e sem aplicação do herbicida glifosato] e cinco doses de Zn (0, 5, 10, 20 e 40 mg kg⁻¹, fonte ZnSO₄), com quatro repetições. Exceto os teores de cobre (Cu) e ferro (Fe), a introdução do gene de resistência ao herbicida é o fator preponderante na diminuição da absorção dos nutrientes, fotossíntese, condutância estomática, clorofila e ureídeos nas folhas. As doses de Zn reduziram os teores de fósforo (P) na folha e aumentaram no solo indicando efeito de inibição, enquanto houve incremento significativo dos teores de Zn no solo e na planta. Exceto na dose 20 mg kg⁻¹ de Zn, a aplicação do herbicida não alterou a produção de matéria da parte área (MSPA) e de grãos (PG), sendo, na média, a máxima produtividade estimada de grãos foi obtida com os teores de Zn disponível de 26,4 e 18,7 mg kg⁻¹ com os extratores Mehlich-1 e DTPA-TEA, respectivamente.

Palavras-chave: *Glycine Max*. Ureídeos. Herbicida. Componentes fisiológicos. Produção. Estado nutricional.

FURLAN, Thiago. **Soybean crop conventional and transgenic: zinc dynamics in soil and plant.** 2015. 59 p. Dissertation (Master's Degree in Agronomy) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2015.

ABSTRACT

Application of glyphosate herbicide in genetically modified (GM) soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] in soils with low zinc (Zn) concentration may interfere in the uptake of this and other nutrients, with negative impact on productivity. Thus, an experiment was conducted in greenhouse conditions on Ustoxix Quatzipsamment soil to investigate the effects of the interaction glyphosate and Zn for yield, photosynthesis, soil fertility and nutritional status of soybean. The treatments consisted of two soybean varieties [BRS 133 (conventional – NGM) and its essentially derived transgenic line BRS 245RR (GM) with and without glyphosate application] and five Zn rates (0, 5, 10, 20, and 40 mg kg⁻¹, source ZnSO₄), with four replicates. Except for the copper (Cu) and iron (Fe) concentrations, the introduction of the herbicide-resistance gene is the predominant factor reducing nutrient uptake, photosynthetic (A) rate, stomatal conductance (Gs), leaf chlorophyll and ureide concentrations. The administration of Zn rates lowered the leaf phosphorus (P) concentration, and there was significant increase in Zn concentration in the soil and in the plant. Except for the rate 20 mg kg⁻¹ of Zn, the use of the herbicide did not affect the yield of the shoot dry weight (SDW) and grain yield (GY), and on average, the maximum GY was obtained with Zn concentrations of 26.4 and 18.7 mg kg⁻¹ extracted by Mehlich 1 and DTPA-TEA, respectively.

Keywords: *Glycine max*. Ureídeos. Herbicide. Physiological components. Yield. Nutritional status.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Esquema simplificado da ação do glifosato na inibição de composto formadores de aminoácidos 16
- Figura 2** - Produção de matéria seca total (MSPA) e de grãos (PG) em função das doses de Zn e aplicação do herbicida glifosato. Significativo a 5% de probabilidade..... 34
- Figura 3** - Amarelecimento das folhas velhas (estádio V₆) e pequenas manchas necróticas irregulares (V₃) na soja BRS 245RR por ocasião da aplicação do herbicida glifosato..... 35
- Figura 4** - Teores dos ureídeos alantoína (CV = 29,01%) e ácido alantóico (CV = 38,26% na média das doses de Zn na soja convencional (BRS 133) e transgênica (BRS 245RR) com (+Gly) e sem (-Gly) aplicação do herbicida glifosato. Médias seguidas por letras distintas minúsculas nas colunas pretas e maiúsculas nas colunas brancas diferem entre si a 5% pelo teste de Snott-Knott..... 36
- Figura 5** - Correlação entre os extratores Mehlich 1 e DTPA-TEA nos solos de Três Lagoas (a), Ponta Grossa (b) e na soma das duas áreas (c). Significativo a 5% de probabilidade 42
- Figura 6** - Correlação entre teor de Zn na folha e o extrator DTPA-TEA nos solos de Três Lagoas (a), Ponta Grossa (b) e na soma das duas áreas (c). Significativo a 5% de probabilidade 43
- Figura 7** - Correlação entre teor de Zn na folha e o extrator Mehlich 1 nos solos de Três Lagoas (a), Ponta Grossa (b) e na soma das duas áreas (c)Significativo a 5% de probabilidade 44
- Figura 8** - Efeito das doses de Zn sobre o teor de Zn na semente de soja da soja BRS 133 e BRS 245RR com e sem aplicação de glifosato cultivada em Três Lagoas (a), Ponta Grossa (b) e na soma das duas áreas (c) Significativo a 5% de probabilidade. Significativo a 5% de probabilidade..... 45
- Figura 9** - Efeito das doses de Zn sobre a produtividade da soja BRS 133 e BRS 245RR com e sem aplicação de glifosato cultivada em Três Lagoas (a) e Ponta Grossa (b). Significativo a 5% de probabilidade..... 46
- Figura 10** - Deficiência de Zn nas folhas de soja cultivada em Três Lagoas (MS). Dose 0 kg/ha de Zn 52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Propriedades químicas do solo cultivado com soja convencional BRS 133 (NGM) e transgênica BRS 245RR (GM) com (+Gly) e sem (-Gly) aplicação do herbicida glifosato em resposta as doses de Zn.....	29
Tabela 2 -	Teor dos nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn) na folha diagnóstico da soja convencional BRS 133 e transgênica BRS 245RR com (+Gly) e sem (-Gly) aplicação do herbicida glifosato em resposta as doses de Zn.....	30
Tabela 3 -	Teor dos nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn) nos grãos da soja convencional BRS 133 e transgênica BRS 245RR com (+Gly) e sem (-Gly) aplicação do herbicida glifosato em resposta as doses de Zn.....	31
Tabela 4 -	Equações de regressão e coeficientes de correlação entre os teores foliares dos nutrientes na folha diagnóstico nas cultivares BRS 133, BRS 245RR (-Gly) e BRS 245RR (+Gly) com a produção de grãos (PG) de soja.....	32
Tabela 5 -	Taxa fotossintética (<i>A</i>), concentração intercelular de CO ₂ (<i>Ci</i> CO ₂), condutância estomática (<i>G</i> _s), taxa transpiratória (<i>Trmmol</i>), eficiência de uso de H ₂ O (<i>EUH₂O</i>) e clorofila nas folhas de soja convencional BRS 133 e transgênica BRS 245RR com (+Gly) e sem (-Gly) aplicação do herbicida glifosato em resposta as doses de Zn.....	33
Tabela 6 -	Atributos químicos do Neossolo Quartzarênico distrófico em função das doses de Zn dentro das cultivares de soja convencional BRS 133 e BRS 245 RR sem (-gly) e com (+gly) aplicação de glifosato em Três Lagoas, MS.....	40
Tabela 7 -	Atributos químicos do Latossolo Vermelho Amarelo distrófico em função das doses de Zn dentro das cultivares de soja convencional BRS 133 e BRS 245 RR sem (-gly) e com (+gly) aplicação de glifosato em Ponta Grossa, PR.....	41
Tabela 8 -	Dados fitotécnicos da soja cultivada em Três Lagoas (MS) e Ponta Grossa (PR).....	47

Tabela 9 - Teores foliares da soja cultivada em Três Lagoas (MS)	48
Tabela 10 - Teores foliares da soja cultivada em Ponta Grossa (PR).....	49
Tabela 11 - Teores dos nutrientes nos grãos da soja cultivada em Três Lagoas (MS).....	50
Tabela 12 - Teores dos nutrientes nos grãos da soja cultivada em Ponta Grossa (PR)	51

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	HIPÓTESES	12
3	REVISÃO LITERATURA	13
4	MATERIAL E MÉTODOS	18
4.1	EXPERIMENTO 1 (CASA DE VEGETAÇÃO).....	18
4.1.1	Local e Tratamentos	18
4.1.2	Adubação e Plantio.....	18
4.1.3	Componentes Fisiológicos e Análise do Tecido Vegetal	19
4.1.4	Ureídeos (Alantoina e Ácido Alantóico) nas Folhas.....	19
4.1.5	Análise dos Atributos Químicos do Solo	20
4.2	EXPERIMENTO 2 (CONDIÇÕES DE CAMPO).....	20
4.2.1	Locais dos Experimentos.....	20
4.2.2	Adubação e Plantio.....	20
4.2.3	Manejo da Cultura e Leitura SPAD	21
4.2.4	Análise dos Atributos Químicos do Solo	21
4.2.5	Coleta do Material Vegetal e Análise Foliar	22
4.3	ANÁLISES ESTATÍSTICAS	23
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
5.1	EXPERIMENTO 1	24
5.1.1	Produção de Matéria Seca da Parte Área e de Grãos.....	24
5.1.2	Atributos Químicos do Solo	25
5.1.3	Ureídeos (Alantoina e Ácido Alantóico)	26
5.1.4	Teores de Nutrientes nas Folhas e nos Grãos de Soja	27
5.1.5	Componentes Fisiológicos (A, gs, Trmmol, cico ₂ , EUH ₂ O e Clorofila)	28
5.2	EXPERIMENTO 2.....	37
5.2.1	Fertilidade do solo e Avaliação de Extratores.....	37
5.2.2	Produção de Grãos.....	39

5.2.3	Dados Fitotécnicos	39
5.2.4	Teor dos Nutrientes nas Folhas e nos Grãos	39
6	CONCLUSÕES	53
6.1	EXPERIMENTO 1	53
6.2	EXPERIMENTO 2.....	53
	REFERÊNCIAS	54

1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine Max* (L.) Merrill) é destaque devido sua importância na balança comercial com grande contribuição no PIB brasileiro. A cultura da soja no Brasil apresenta o crescimento de 10,7% (2,68 milhões de hectares), passando de 25,04 para 27,72 milhões de hectares (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2013).

Na busca de novas tecnologias que ocasionem em menor custo de produção, estão aparecendo deficiências nutricionais, principalmente de Zn e Mn, ocasionado, possivelmente, pelo mecanismo de ação do herbicida na planta.

É esperado que a presença do glifosato diminua a absorção de micronutrientes pelas plantas e que a formação de aminoácidos essenciais seja influenciada pela alteração na rota do ácido chiquimico. A aplicação do herbicida pode influenciar a produtividade em solos com menor disponibilidade de Zn, os teores mais elevados de Zn na soja transgênica suprem a demanda do nutriente nos processos metabólicos da planta.

Pode ocorrer alteração na rizosfera devido à ação do herbicida, influenciando negativamente a absorção de nutrientes e o pH onde em solo com alto teor de argila.

O objetivo deste trabalho será determinar o efeito do glifosato na produtividade, na absorção de nutrientes na soja em dois solos com características físicas e químicas distintas, avaliar as possíveis interações nutricionais na presença e ausência do glifosato, estudar a capacidade de remobilização de nutrientes na soja convencional e transgênica na presença e ausência do herbicida, definir os níveis críticos de Zn para soja convencional e transgênica nas condições edafoclimáticas estudadas.

2 HIPÓTESES

- a) A aplicação de glifosato diminui o teor de clorofila nas plantas, teor de Zn na matéria seca da parte aérea, teor de Zn na folha diagnóstica e a produtividade da soja;
- b) Os dois materiais genéticos (transgênico e convencional) têm respostas distintas na eficiência de utilização de Zn com níveis críticos distintos;
- c) Os teores de nutrientes nas folhas e nos grãos da soja serão influenciados pela presença ou ausência de aplicação do glifosato;
- d) O mecanismo de ação do glifosato no solo altera o pH e a atividade de absorção de nutrientes na rizosfera da planta;
- e) Os extratores Mehlich 1 e DTPA-TEA são semelhantes na determinação do Zn disponível;
- f) A aplicação de glifosato minimiza o efeito de toxidez do Zn na planta.

3 REVISÃO LITERATURA

Na década de 90 foi obtido por meio de engenharia genética, plantas de soja que a partir da inserção de um gene (CP4) proveniente de *Agrobacterium spp.* foi capaz de codificar a proteína EPSPS (5-enolpiruvil-chiquimato-3-fosfato sintase), tornando-a resistente e com baixa afinidade a molécula do glifosato. Tal característica proporcionou a formação de plantas com resistência estável à aplicação desse herbicida (DELANNAY et al., 1995). Essa tecnologia denominada pelo fabricante de “Roundup Ready® ou RR” é mundialmente difundida, por possibilitar o manejo de plantas daninhas de forma eficiente com apenas um herbicida, com provável menor custo e baixo impacto ambiental.

O cultivo de plantas geneticamente modificadas no Brasil é relativamente recente se comparado com outros países, como os Estados Unidos e a Argentina. Conseqüentemente, além da utilização de materiais genéticos diferentes, os estudos de manejo e de adubação, na sua maioria, foram realizadas em clima temperado, condições edafoclimáticas muito diferentes das existentes nas principais regiões agrícolas do Brasil, caracterizados por acidez elevada e baixo teor de matéria orgânica.

As áreas cultivadas com plantas transgênicas (RR) vêm aumentando exponencialmente. Apesar da utilização das “RRs” implicarem no pagamento de “Royalties”, valor esse, agregado ao preço da semente, esta tecnologia pode possibilitar a redução dos custos de produção, principalmente, em áreas com alta infestação de plantas daninhas, com possível aumento na lucratividade do produtor (DALL’AGNOL et al., 2007). No caso da soja, devido à oscilação de preço no mercado mundial e a queda na produtividade na safra 2008/2009 em regiões tradicionais, como os estados do Paraná e Santa Catarina, as estimativas de custos e análise de lucratividade mostraram que neste período, o produtor de soja convencional obteve um ganho ligeiramente superior ao da soja transgênica (HIRAKURI, 2008).

Nas condições edafoclimáticas dos trópicos, os primeiros anos de cultivo com soja RR apresentaram poucos problemas de fitointoxicação decorrentes da aplicação de glifosato. Contudo, ao passar dos anos e, principalmente, na safra 2007/2008, houve maior percepção da ocorrência de uma reação visível nas plantas transgênicas, caracterizada pelo amarelecimento internerval das folhas novas e

diminuição do tamanho dos internódios, sintomas semelhantes às deficiências nutricionais de manganês (Mn) e de zinco (Zn) (CASTRO; OLIVEIRA, 2008).

Em termos nutricionais, com base no pressuposto que os sintomas severos relacionados à aplicação do glifosato são semelhantes, em grande parte, às deficiências de Mn e Zn, tem induzido os produtores a adotarem como regra, a aplicação foliar desses elementos ou na forma de misturas de micronutrientes ou combinado com aminoácidos, sem ter a certeza que seja esse o único problema. Apesar da credulidade dos agricultores, a única certeza é o aumento dos custos com uso de fertilizantes foliares no cultivo da soja RR, fator esse, responsável por 21 a 35% dos gastos variáveis de produção. No caso dos herbicidas, estes valores representam, na média, 12% do custo na soja convencional e 8% na transgênica (HIRAKURI, 2008).

No cultivo da soja RR, mesmo com a presença de internódios curtos e folhas mais estreitas (FAGERIA, 2009; MALAVOLTA, 2006; MENGEL; KIRKBY, 2001), o produtor normalmente não faz a correção pós-plantio do Zn com adubação de solo, e quando aplicado, é de forma indireta utilizando formulações com outros micronutrientes. No caso do Mn, devido o sintoma ser mais nítido, o seu consumo via foliar tem aumentado, inclusive em regiões com altos teores do nutriente no solo, como observado nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.

Em condições de campo, não há consenso de opinião em relação aos sintomas de fitotoxicidade e redução da produtividade. A principal observação é que a aplicação de fertilizantes foliares concomitantemente com a adoção dessa tecnologia RR tem sido a alternativa discutível para amenizar ou suprir essas prováveis deficiências nutricionais, tornando-se, como citado no parágrafo acima, parte rotineira do cultivo de soja RR e componente importante do custo de produção.

Em algumas áreas também foi observado, além dos característicos de carência de Mn e Zn, sintomas de amarelecimento que lembram a deficiência de nitrogênio (N) ou molibdênio (Mo), caso não fossem as folhas novas as mais afetadas logo após aplicação do herbicida (Yellow Flashing), e que, de modo geral, os sintomas desaparecem com o desenvolvimento das plantas. Fatores, como influência na fixação simbiótica de N pode ser uma hipótese a ser estudada com mais detalhes.

O glifosato [(N-fosfometil-glicina)] é o herbicida mais utilizado no mundo. É considerado um produto não-seletivo, de ação sistêmica e que deve ser

aplicado em pós-emergência, sendo recomendado tanto para o controle de plantas anuais quanto para as perenes (RODRIGUES; ALMEIDA, 1998). Porém, se não for bem utilizado, pode apresentar riscos, com conseqüências negativas no controle de plantas daninhas e na produção (GAZZIEIRO; ADEGAS; VOLI, 2008).

O mecanismo de ação do glifosato ocorre com a inibição da rota do ácido chiquímico (Figura 1), evitando a síntese dos aminoácidos de cadeia aromática (entre elas, o triptofano, tirosina e fenilalanina) (GRAHAM; WEBB, 1991). Essa inibição ocorre pela inativação da enzima 5-enolpiruvil-chiquimato-3-fosfato sintase (COUPLAND, 1985). No caso do triptofano, onde o Zn atua, o mesmo é precursor do ácido indolilacético (AIA), hormônio vegetal necessário para expansão celular, manutenção da dominância apical, entre outros processos fisiológicos (DAVIES, 1995; MARSCHNER, 1995).

Na sua maioria, trabalhos realizados estão relacionados à microbiologia do solo (DVORANEN et al., 2008; ZABLOTOWICZ; REDDY, 2007; ZILLI et al., 2007); fisiologia e biologia molecular das plantas (FUNKE et al., 2006; KING; PURCELL; VORIES, 2001; MOLDES et al., 2008; NANDULA et al., 2007; REDDY; RIMANDO; DUKE, 2004) e manejo de plantas daninhas (CERDEIRA et al., 2007; GAZZIEIRO; ADEGAS; VOLI, 2008). Especificamente em relação à nutrição mineral de plantas, poucos relatam a redução na absorção e na translocação de micronutrientes. Desses trabalhos, houve reduções na absorção de manganês (Mn), ferro (Fe), cobre (Cu) e zinco (Zn) (EKER et al., 2006), em plantas de girassol, o mesmo foi observado com a soja por Zobiolo et al. (2010). Para a soja, outros trabalhos restringem-se à resposta a aplicação somente de Mn via solo (GORDON, 2007) ou via foliar (HUBER, 2007), bem como, o estágio de desenvolvimento ideal para aplicação do Mn (FOLONI et al., 2005).

Além do efeito do glifosato, outro problema observado nas regiões produtoras de soja, em especial as de cerrado, é o uso elevado de calcário dolomítico na camada superficial do solo em sistema de plantio direto, induzido o aparecimento de deficiências de micronutrientes metálicos causadas pelos efeitos de inibição interiônica do tipo não competitiva do Ca e Mg sobre o Mn e Zn (MOREIRA et al., 2003).

O Zn juntamente com o B, são os micronutrientes que mais afetam a produção das plantas na região dos trópicos (FAGERIA, 2009). Na planta, o Zn é absorvido preferencialmente como cátion bivalente (HAVLIN et al., 1999), sendo

Os efeitos negativos também foram verificados por Santos et al. (2007), com redução de 11% e 33% do carbono da biomassa microbiana do solo (CBM), com a utilização do Roundup Ready® e R. Transorb®, respectivamente. No entanto, no Estado de Roraima, Zilli et al. (2007) não observaram diferenças do CBM entre o controle e o tratamento com glifosato, havendo diferenças somente quando combinado com o Imazaquim. As condições edafoclimáticas distintas dos dois experimentos podem ter influenciado nos dois resultados.

Na revisão feita por Yamada e Castro (2007), resultados da década de 1970 em meio de cultura mostram o efeito depressivo do glifosato sobre a formação de nódulos de *Bradyrhizobium spp.* Com a soja BRS 247 RR, aplicação de glifosato reduziu o número e a matéria seca de nódulos (DVORANEN et al., 2008). Em outro estudo (MOLDES et al., 2008), 72 horas após a aplicação do glifosato houve redução do teor de clorofila em duas das quatro cultivares estudadas, neste caso as maiores diferenças foram entre as cultivares avaliadas.

Herbicidas com princípio ativo glifosato atuam no metabolismo do N com efeitos diretos na fixação biológica (ZOBIOLE et al., 2007). Qualquer condição adversa no solo pode influenciar negativamente na sensibilidade da FBN (YAMADA; CASTRO, 2007). No caso da dinâmica do glifosato na rizosfera, Römheld (2007) relatou que deve se considerar a imobilização desse herbicida por cátions, como o Al^{3+} , Ca^{2+} e Zn^{2+} e a competição por sítios de adsorção. O mesmo autor também observou a variação na atuação do glifosato em razão do tipo de solo.

Atualmente, 58% da soja plantada no Brasil são de variedades transgênicas - RR (ECODEBATE, 2008) e poucos estudos estão sendo realizados sistematicamente nessas linhas de pesquisa e os resultados ainda são incipientes. Assim, com a introdução dessa tecnologia em outras culturas (alfafa, milho, algodão, etc.), são necessários estudos de manejo da fertilidade e estado nutricional com materiais genéticos introduzidos para ser cultivado nas condições edafoclimáticas dos trópicos.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 EXPERIMENTO 1 (CASA DE VEGETAÇÃO)

4.1.1 Local e Tratamentos

Em condições de casa de vegetação foi realizado um experimento em vasos de barro com 4,0 dm³ de capacidade e impermeabilizados internamente para determinar os efeitos do gene de resistência e da aplicação de glifosato na soja GM. O solo utilizado foi um Neossolo Quartzarênico coletado na profundidade de 0-20 cm no município de Três Lagoas (MS), localizado nas coordenadas 20°45'04" LS e 51°40'42" LW. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3×5, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram de cinco doses de Zn (0, 5, 10, 20 e 40 mg kg⁻¹ – fonte: ZnSO₄) e duas cultivares, a convencional BRS 133 (tipo de crescimento determinado e grupo de maturidade 7,3 e sua essencialmente derivada, a transgênica BRS 245RR [(BRS 133⁶×E96-246), tipo de crescimento determinado e grupo de maturidade 7,5], na qual foi dividida em dois tratamentos sem (-Gly) e com (+Gly) aplicação de glifosato.

4.1.2 Adubação e Plantio

Trinta dias antes do plantio foi aplicado calcário dolomítico (CaO = 27,1%, MgO = 17,5%, RE = 100%, PN = 91,9% e PRNT = 92,1%) para elevar a saturação por bases a 60%, (MASCARENHAS; TANAKA, 1996). Exceto o nitrogênio (N) e Zn, as adubações foram feitas de acordo com Malavolta (1980) para experimentos realizados em condições controladas (150 mg kg⁻¹ de P; 100 mg kg⁻¹ de K; 50 mg kg⁻¹ de S, 0,5 mg kg⁻¹ de B; 1,5 mg kg⁻¹ de Cu, 5,0 mg kg⁻¹ de Fe e 5,0 mg kg⁻¹ de Mn). A quantidade de K foi parcelada em duas vezes, ½ da dose antes da semeadura e ½ no estágio V3 (FEHR et al., 1971). Os vasos foram irrigados diariamente com água desionizada para compensar as perdas por evapotranspiração e manter a umidade próxima a 70 % do volume total de poros (VTP).

As sementes de soja foram inoculadas com *Bradyrhizobium elkanii* – SEMIA 587 e SEMIA 5019 (4,0x10⁹ células viáveis g⁻¹), posteriormente tratadas com

uma solução contendo $0,01 \text{ mg L}^{-1}$ de cobalto (Co), $0,1 \text{ mg kg}^{-1}$ de níquel (Ni) e $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ de molibdênio (Mo). Nos vasos, foram semeadas dez sementes uniformes e, após o desbaste, deixadas duas plantas. Nos estádios V3 e V6 (FEHR et al., 1971), metade das plantas com tratamento BRS 245 RR receberam a aplicação de glifosato (Roundup Ready®) na dose de $1,5 \text{ L/ha/aplicação}$ ($540 \text{ g a.e.ha}^{-1}$) com pulverizador costal, a pressão constante, mantida por CO_2 comprimido de 276 kPa .

4.1.3 Componentes fisiológicos e análise do tecido vegetal

No estágio R_1 (FEHR et al., 1971), foi realizada uma amostragem das folhas (3^{o} e 4^{o} trifólios totalmente expandidos a contar do ápice) para diagnose foliar. Antes da coleta, foi feita, nos mesmos trifólios, a leitura SPAD, valor convertido em teor de clorofila (mg cm^{-2}) pela equação $\hat{y} = 16,033 + (7,5774 \times \text{SPAD})$ (FRITSHI; RAY, 2007) e, em seguida nas mesmas folhas, foram determinadas a taxa fotossintética líquida – A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática – G_s ($\text{mol H}_2\text{O M}^{-2} \text{ s}^{-1}$), concentração intercelular de gás carbônico – $C_i\text{CO}_2$ ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$), eficiência do uso de água – EUH_2O ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e taxa respiratória – Trmmol ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), com medidor de fotossíntese e fluorescência LI-6400XT (LICOR®). Os folíolos foram secos em estufa de circulação forçada a $65 \pm 3^\circ\text{C}$ e, posteriormente moídos para determinação dos teores totais de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn, conforme metodologia descrita por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). Durante todo ciclo da soja foram coletadas as folhas senescente e no final do ciclo foram secas em estufa e determinada a produção de matéria seca total da parte aérea (MSPA, Σ folha, vagem, grãos e caule). Os grãos também foram moídos e analisados de forma semelhante as folha diagnóstico.

4.1.4 Ureídeos (Alantoina e Ácido Alantóico) nas Folhas

Foram incubadas 300 mg de folhas secas do terço superior das plantas em $5,0 \text{ mL}$ de tampão fosfato ($0,1 \text{ mol L}^{-1}$, pH 7,0) e $2,5 \text{ mL}$ de etanol absoluto em banho de água (80°C durante 5 minutos), agitou-se e filtrou-se. O extrato foi centrifugado (10.000 g durante 5 minutos) e filtrado para determinação da

concentração de ácido úrico e ácido alantóico (ureídeos) no sobrenadante (VOGELS; VAN DER DRIFT, 1970).

4.1.5 Análise dos Atributos Químicos do Solo

Após a colheita, foram coletadas amostras de solo de cada tratamento para determinação de pH em água, P disponível, K disponível, Ca^{2+} trocável, Mg^{2+} trocável, S-SO_4^- disponível, Al^{3+} trocável, $\text{H}^+\text{+Al}^{3+}$, CTC ($\sum\text{K}^+$, Ca^{2+} , Mg^{2+} , $\text{H}^+\text{+Al}^{3+}$), saturação por bases (V%) – $[(\sum\text{K}^+, \text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+}/\text{CTC})\times 100]$, B disponível, Cu disponível, Fe disponível e Mn disponível, conforme metodologias descritas em Embrapa (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 1997), enquanto o Zn disponível foi determinado nas soluções extratoras Mehlich 1 – 0,05 M de ácido clorídrico (HCl) + 0,0125 M de ácido sulfúrico (H_2SO_4) (MEHLICH, 1978) e DTPA-TEA – dietilenetriaminapentaacético (LINDSAY; NORVELL, 1978).

4.2 EXPERIMENTO 2 (CONDIÇÕES DE CAMPO)

4.2.1 Locais dos Experimentos

Os experimentos foram realizados em Ponta Grossa sobre um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico e Três Lagoas- MS, em Neossolo Quartzarênico, realizado em parcelas de 4 metros por 8 metros em delineamento experimental de blocos casualizados em esquema fatorial 3×5 , com quatro repetições. Os tratamentos consistiram de cinco doses de Zn (0, 3, 6, 9 e 12 kg ha^{-1} – fonte: ZnSO_4) e duas cultivares parentais (BRS 133 e BRS 245RR), sendo que última será dividida em dois, formando, neste caso, três tratamentos: BRS 133, BRS 245RR com glifosato e BRS 245RR sem glifosato. Estes três tratamentos foram plantados em blocos distintos, sendo a casualização das doses de Zn realizada dentro das parcelas.

4.2.2 Adubação e Plantio

Exceto o N e Zn, as adubações foram feitas de acordo com a Tecnologia de Produção de Soja (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA

AGROPECUÁRIA, 2008). Os micronutrientes (B, Cu, Fe e Mn) e as doses de Zn correspondente aos tratamentos foram misturados com gesso e incorporados com enxada rotativa.

As sementes foram inoculadas com *Bradyrhizobium elkanii* – SEMIA 587 e SEMIA 5019 ($4,0 \times 10^9$ células viáveis g^{-1}) e tratadas com solução contendo Mo, Co e Ni (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2008).

4.2.3 Manejo da Cultura e Leitura SPAD

Nos estádios V3 e V6 (FEHR et al., 1971), metade das plantas com tratamento BRS 245 RR receberão aplicação de glifosato (Roundup Ready®) na dose de 1,5 L/ha/aplicação ($540 \text{ g a.e. ha}^{-1}$), em cada estágio respectivamente. Na aplicação dos tratamentos via foliar, será utilizado pulverizador costal, a pressão constante, mantida por CO_2 comprimido de 276 kPa, equipado com barra de 2,0 m de largura e quatro bicos de jato plano AVI-ISO 110-015, com volume de pulverização equivalente a 100 L ha^{-1} . Após aplicação do herbicida as plantas foram fotografadas para acompanhamento dos sintomas visuais de deficiência ou fitotoxicidade.

Nos estádios V7 e R1 (FEHR et al., 1971), será determinada a unidade SPAD dos 3º e 4º trifólios totalmente expandidos a contar do ápice de 20 plantas por parcela, nos quais foram posteriormente coletadas para realização das análises foliares.

4.2.4 Análise dos Atributos Químicos do Solo

A análise de solo (pH, C, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn) foram realizadas de acordo com as metodologias descritas em Embrapa (1997) e as análises foliares de acordo com Malavolta et al. (1997). Os teores de Zn disponível no solo também foram determinados por DTPA-TEA (RAIJ et al., 2001).

Na amostra de solo será determinado o pH, N total, MO, P, K, Ca, Mg, Al, H+Al, B, Cu, Fe, Mn e Zn conforme metodologias descritas pela Embrapa (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 1997) e Raij et al. (2001): O pH será determinado em CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ na relação 1:2,5; N total por semi-Kjeldahl, Matéria Orgânica (MO) determinado por Walker & Black, P disponível

e o K trocável foram extraídos por Mehlich 1 (0,025 mol L⁻¹ de H₂SO₄ + 0,05 mol L⁻¹ de HCl) e resina trocadora de íons. O Ca e o Mg trocável foram extraídos por KCl 1,0 mol L⁻¹ e resina trocadora de íons, a acidez potencial (H+Al) por acetato de cálcio 0,01 mol L⁻¹ e tampão SMP, B por água quente e Cu, Fe, Mn e Zn por Mehlich 1 e DTPA-TEA. A capacidade de troca de cátions (CTC) será estimada pela soma dos teores trocáveis de Ca, Mg, K e H+Al.

4.2.5 Coleta do Material Vegetal e Análise Foliar

No estágio R1 (FEHR et al., 1971), será realizada uma amostragem (3^o e 4^o trifólios totalmente expandido a contar do ápice – Malavolta et al. (1992) para diagnose foliar. Na maturação fisiológica, estágio R7 (FEHR et al., 1971), as plantas foram colhidas e separadas em folhas, caules+pecíolos, pericarpos, raízes e grãos e, posteriormente, colocadas em sacos de papel devidamente identificados. As folhas senescentes coletadas durante a condução do experimento foram juntadas com as coletadas no estágio R7. As partes das plantas foram secas em estufa de ventilação forçada a uma temperatura média de 65°C, até atingir peso constante.

Após a secagem, as amostras foram pesadas, moídas e submetidas às análises químicas. No caso dos grãos, foi avaliado o número de grãos, o peso de 100 sementes e a produção por planta. O N total será extraído por digestão sulfúrica e determinado pelo método micro-Kjeldahl, o P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn foram extraídos por digestão nitroperclórica (2:1,v:v), sendo que o P e S determinados por espectrofotométrica com o método azul de molibdênio e turbidimetria, respectivamente (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). O teor foliar de B será feito por incineração a 500°C e determinado com reagente colorimétrico Azometina-H, no comprimento de onda de 420 nm (ABREU; ABREU; ANDRADE, 2001; MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA et al., 1997). Os demais nutrientes foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica de acordo com as metodologias descritas por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997).

Para determinação de produção de grãos será realizada a colheita mecanizada, utilizando uma colhedora de parcelas Wintersteiger[®], na área útil da parcela (2 metros × 6 metros), quando a soja estiver na maturação de colheita (15% de umidade). Após, foram determinadas a produção de cada parcela (por meio de pesagem em balança eletrônica) e a medição da umidade. Os dados de

produtividade por parcela foram transformados em kg/ha e corrigidos para 13% de umidade.

4.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

De acordo com o delineamento proposto, foi realizado o teste de normalidade para as variáveis analisadas, e posteriormente submetidas à análise de variância (ANOVA - teste F), teste de comparação de contraste de médias a 5% de probabilidade pelo teste Tukey (PIMENTEL-GOMES; GARCIA, 2002).

As análises de regressão e correlação ($p \leq 0,05$) foram usadas para estudar as relações entre as doses de Zn e glifosato com os nutrientes absorvidos, com os dados fitotécnicos, fisiológicos e com a produção de grãos e matéria seca (MSPA) das diferentes partes da planta e total. As correlações foram utilizadas para os teores do nutriente nas folhas de cada tratamento, produção de matéria seca, os teores disponíveis de Zn extraídos com as soluções extratoras DTPA-TEA e Mehlich-1.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 EXPERIMENTO 1

5.1.1 Produção de Matéria Seca da Parte Área e de Grãos

As produções de MSPA e de grãos (PG) são apresentados na Figura 2. Verificou-se interação significativa das doses de Zn × aplicação e glifosato ($p \leq 0,05$) sobre a MSPA e PG. Na ausência de aplicação de Zn, a cultivar de soja convencional BRS 133 (NGM) apresentou as menores produções de MSPA e PG, o inverso foi observado nas maiores doses estimadas do nutriente. As derivadas das equações de regressão (Figura 2) indicaram que as maiores produções estimadas de MSPA e grãos seriam obtidas com aplicação de 17,5 e 16,8 mg kg⁻¹ de Zn, respectivamente. Na comparação das cultivares BRS 133 e BRS 245RR com e sem aplicação de glifosato dentro da dose 20 mg kg⁻¹ de Zn (dose com a maior produção de MSPA e PG – Figura 2), houve efeito significativo ($p \leq 0,05$) com inclusão do gene de resistência, com as maiores produções na NGM (BRS 133) e a menor na GM (BRS 245RR), sendo que nesta última, também houve diferenciação significativa com aplicação ou não do herbicida (Figura 2). Resultados semelhantes sobre os efeitos negativo da presença do gene na produção também foram reportados por Gordon (2007), com diminuição de 10% na produtividade de grãos de soja, por Serra et al. (2011), sobre a produção de MSPA, com redução de 40% e Cakmak et al. (2009) para a MSPA e PG. Nestes trabalhos, a aplicação do glifosato causou maiores danos nos tecidos reprodutivos do que nas partes vegetativas das plantas, afetando negativamente a produtividade, possivelmente, devido a formação do ácido aminometilfosfônico (AMPA), metabólito formado na degradação do glifosato causando amarelecimento e injúrias nas folhas, caracterizadas por pequenas manchas necróticas e irregulares após aplicação do herbicida nos estádios V6 (yellow flashing) e V3, respectivamente (Figura 3).

Resultados contraditórios sobre ausência de efeito do glifosato sobre a produção de MSPA foram verificados por Rosolem et al. (2010) e Andrade e Rosolem (2011) em experimento com doses de Mn e glifosato em soja GM. Cabe destacar, que a menor ou maior produção de MSPA verificadas nestes experimentos não necessariamente podem acarretar em menor produção de grãos, visto que

fatores genéticos e edafoclimáticos também influenciam nestes resultados (BALIGAR; FAGERIA; HE, 2001; FAGERIA et al., 2014).

5.1.2 Atributos Químicos do Solo

O teste F mostrou interação significativa das cultivares × doses de Zn para os teores de P, S-SO₄²⁻, Cu, Fe, Mn e Zn disponível no solo, enquanto o pH, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e B não foram influenciados pelos tratamentos (Tabela 1). O pH variou de 4,5 a 5,1, ficando abaixo da faixa de 5,3 a 6,4 indicada por Fageria e Baligar (2008) como adequada para o cultivo de leguminosas nas condições edáficas dos trópicos. O P disponível aumentou com o incremento das doses de Zn, independente da cultivar e da aplicação ou não do glifosato (Tabela 1). Esse resultado decorreu, possivelmente, da maior absorção de P nas menores doses de Zn (Tabela 2), ocasionado pelos efeitos de inibição do tipo não competitiva (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997), o que foi também verificado por Murphy, Ellis Júnior e Adriano (1981), Loneragan et al. (1982) e Moreira et al. (2002). Para o S-SO₄²⁻ disponível, as plantas com glifosato apresentaram, na média das doses de Zn, os menores teores no solo, o que indica maior absorção do nutriente pelas plantas GM, o inverso foi observado com a cultivar convencional BRS 133 (Tabela 1). Com relação às doses de Zn, houve efeito linear positivo ($\hat{y} = 5,35 + 0,031x$, $r = 0,61$, $p \leq 0,05$) da aplicação do nutriente sobre a disponibilidade de S-SO₄²⁻ no solo.

Os maiores teores de Cu, Mn e Zn disponível no solo obtidos com o extrator Mehlich 1 demonstraram, que independentemente das doses de Zn, a presença do gene RR diminuiu significativamente ($p \leq 0,05$) a absorção destes pelas plantas, com valores médios de 11,6%, 6,0% e 10,6%, respectivamente superiores (Tabela 1), quando comparados com os teores no solo cultivado com a soja não geneticamente modificada (NGM). Além dos efeitos negativos relacionados às alterações genéticas da soja GM descritas por Zobiole et al. (2012), processos de complexação e imobilização de íons na rizosfera decorrentes da aplicação do glifosato, também dificultam a absorção de nutrientes (RÖMHELD, 2007).

De acordo com a interpretação dos teores de P, S-SO₄²⁻, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, B, Cu, Fe, Mn e Zn no solo, na média dos tratamentos, o P, Cu e Fe situaram dentro das faixas indicadas como alta, S-SO₄²⁻, K⁺, Mg²⁺ e Mn da média e Ca²⁺ e B dentro da baixa disponibilidade para as plantas (TPS, 2013). Semelhante aos

resultados obtidos por Fageria, Santos e Cobucci (2011), os extratores Mehlich 1 e DTPA-TEA apresentaram correlação altamente significativa ($\hat{y}=0,327+0,681x$, $r = 0,99$, $p \leq 0,05$) na discriminação do Zn disponível no solo com maior concentração verificada no extrator Mehlich 1, e independente das cultivares [BRS 133, BRS 245RR (-Gly) e BRS 245RR (+Gly)], somente as doses 5 mg kg^{-1} ($8,9$ e $5,3 \text{ mg kg}^{-1}$) e 10 mg kg^{-1} ($14,4$ e $8,5 \text{ mg kg}^{-1}$) de Zn ficaram próximas dos níveis indicados como adequados para o cultivo da soja (TPS, 2013).

Os teores de Zn disponível no solo obtidos com os extratores Mehlich 1 e DTPA-TEA apresentaram respostas significativas para obtenção da produtividade máxima estimada de grãos na cultivar NGM (BRS 133) com teores de $29,1$ e $20,4 \text{ mg kg}^{-1}$, na GM (BR 245RR) sem aplicação de glifosato (-Gly) de $27,7$ e $19,7 \text{ mg kg}^{-1}$, na GM (BR 245RR) com aplicação de glifosato (+Gly) de $21,3$ e $12,2 \text{ mg kg}^{-1}$ e na média das cultivares de $26,4$ e $18,7 \text{ mg kg}^{-1}$.

5.1.3 Ureídeos (Alantoína e Ácido Alantóico)

Independente da aplicação do herbicida, na média das doses de Zn, a presença do gene de resistência ao glifosato na cultivar BRS 245RR ocasionou em redução significativa ($p \leq 0,05$) superior a 50% na concentração dos ureídeos (alantoína e ácido alantóico) nas folhas quando comparada com a cultivar não transgênica BRS 133 (Figura 4). A redução verificada na soja GM com e sem glifosato demonstra uma possível falha no transporte de compostos ligados ao N para as folhas, o que acarretou em menores teores de clorofila e N total (Tabelas 2 e 3). De acordo com King e Purcell (2005), em condições normais, os ureídeos devem ser transportados rapidamente dos nódulos para a parte aérea das plantas, onde são metabolizados e remobilizados para todos os órgãos em crescimento, mas os resultados obtidos indicam que este processo dentro da rota do ácido chiquímico (DELANNAY et al., 1995), foi possivelmente modificado com a introdução do gene de resistência (CP4). Dvoranen et al. (2008) relataram que aplicação foliar do glifosato na soja no estágio V3 reduziu o número e a matéria seca de nódulos, devido a diminuição da atividade da nitrogenase no processo de fixação simbiótica de N (FBN), estando este fator diretamente relacionado aos teores de ureídeos na planta.

5.1.4 Teores de Nutrientes nas Folhas e nos Grãos de Soja

As doses de Zn, independente das cultivares, influenciaram significativamente a absorção de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn (Tabela 2), enquanto nos grãos, somente o teor de S não apresentou efeito significativo (Tabela 3). Exceto o teor foliar de Cu, houve interação significativa das doses de Zn × cultivares de soja nos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Fe, Mn e Zn (Tabela 2). Como verificado no solo, a análise de regressão mostrou que o teor foliar de P decresceu significativamente ($\hat{y} = 5,051 - 0,039x$, $R^2 = 0,54$, $p \leq 0,05$) com incremento das doses de Zn, o inverso ocorreu com o teor de Zn na folha ($\hat{y} = 18,630 + 6,005x$, $R^2 = 0,92$, $p \leq 0,05$) e nos grãos ($\hat{y} = 31,9341 + 1,064x$, $R^2 = 0,86$, $p \leq 0,05$). Para os demais nutrientes, o efeito das doses de Zn foi quadrático e significativo (Tabelas 2 e 3). Comparando as cultivares, a presença do gene de resistência ao herbicida ocasionou em diminuição significativa ($p \leq 0,05$) nos teores foliares de N, P, K, Ca, Mg, B, Mn e Zn (Tabela 2). Este resultado corrobora Zobiolo et al. (2010), ao verificarem que plantas de soja GM apresentam menores teores foliares dos nutrientes quando comparada com a convencional (NGM), fato esse não corroborado por Rosolem et al. (2010), em estudo também feito em condições controladas com cultivares de soja e doses de Mn, nos quais não encontraram evidências do gene de resistência ao glifosato sobre a absorção de nutriente.

Na média dos tratamentos (doses de Zn e cultivares), os teores de macronutrientes nas folhas de soja apresentaram a seguinte ordem: $N > K > Ca > P > Mg > S$, enquanto para os grãos foi $N > K > P > S > Mg > Ca$ e para o micronutrientes foi nas folhas $Mn > Zn > Fe > B > Cu$ e nos grãos $Fe > Zn > Mn > B > Cu$ (Tabelas 2 e 3). Resultados semelhantes foram obtidos por Fageria et al. (2014) em estudo com doses de gesso em Latossolo cultivado com soja. Exceto os teores foliares de P (+27,8%) e Cu (+13,3%), corroborando Zobiolo et al. (2010, 2012), sobre a eficiência de uso de nutrientes, as cultivares GM apresentaram os menores teores foliares para obtenção das maiores produções de grãos (PG) estimadas (Tabela 4), com redução de 34,7% (N), 18,1 (K), 23,9% (Ca), 29,8% (Mg), 29,3% (S), 42,1% (B), 23,4% (Fe), 26,1 (Mn) e 43,1% (Zn), sendo que o efeito da aplicação do herbicida foi somente verificado nos teores foliares de S, Mn e Zn, com redução de 18,9%, 14,5% e 74,7%, respectivamente (Tabela 4).

5.1.5 Componentes Fisiológicos (A, gs, Trmmol, CiCO₂, EUH₂O e Clorofila)

Na média das doses de Zn, o gs, A e teor de clorofila diminuíram significativamente ($p \leq 0,05$) com a presença do gene RR (Tabela 5) enquanto na aplicação do herbicida, houve efeito apenas para o teor de clorofila, com redução de 7,7% do (-)Gly para (+)Gly. O EUH₂O, CiCO₂ e Trmmol não apresentaram significância em função dos tratamentos. Os efeitos negativos sobre as variáveis fotossintéticas na soja GM quando comparada com a parental NGM (BRS 133) e do glifosato sobre o teor de clorofila foram descritos por Zobiole et al. (2010, 2012). No caso da clorofila, os mesmos autores relatam que o glifosato é um quelante Fe, Mn e Mg e a imobilização destes cátions afeta a síntese de clorofila e, conseqüentemente, todo o metabolismo da fotossíntese.

A aplicação do Zn no solo influenciou A, gs, e clorofila e interação significativa das doses de Zn × cultivares de soja (Tabela 5). Também houve efeito da taxa fotossintética (A) sobre a MSPA ($\hat{y} = 23,057 + 3,072x$, $r = 0,53$, $p \leq 0,05$) e PG ($\hat{y} = 9,680 + 1,804x$, $r = 0,55$, $p \leq 0,05$). O Zn participa de importantes processos metabólicos das plantas, tais como a desidrogenases, fosfohidrogenase, peptidases e proteinases, relacionados aos metabolismos de carboidratos, fosfatos, proteínas e na formação de auxinas, RNA (ácido ribonuclêico) e ribossomos, que atuam diretamente ou indiretamente na fotossíntese (MARSCHNER, 2012). Resultados semelhantes dos efeitos positivos da aplicação de Zn sobre A também foi obtido por Ohki (1978), em estudo realizado com soja em condições de casa de vegetação, visto que na carência do nutriente houve redução significativa na taxa fotossintética das plantas.

Tabela 1 - Propriedades químicas do solo cultivado com soja convencional BRS 133 (NGM) e transgênica BRS 245RR (GM) com (+Gly) e sem (-Gly) aplicação do herbicida glifosato em resposta as doses de Zn.

Cultivares	Dose de Zn mg kg ⁻¹	pH	P	S- SO ₄ ²⁻	K	Ca	Mg	CTC	B	Cu	Fe	Mn	Zn (a)	Zn (b)
		CaCl ₂	mg kg ⁻¹	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
BRS 133	0	5.0	148.7	6.3	0.14	0.9	0.5	4.8	0.22	3.6	172.5	20.9	0.6	0.3
	5	4.9	145.5	6.2	0.15	0.9	0.5	4.9	0.23	4.6	106.5	16.9	9.0	5.8
	10	4.5	136.3	6.5	0.15	0.8	0.4	4.9	0.22	3.7	83.8	13.0	12.3	7.3
	20	4.6	168.3	6.1	0.13	0.8	0.4	4.9	0.19	4.9	123.8	15.4	32.5	21.0
	40	5.1	184.4	7.8	0.10	0.9	0.5	4.7	0.20	4.0	204.4	20.7	59.1	42.1
	Média	4.8b	156.6a	6.6a	0.13a	0.9a	0.5a	4.8a	0.21 ^a	4.2b	138.2a	17.4b	22.7a	15.3a
BRS 245 RR (-Gly)	0	5.0	140.3	5.6	0.18	1.1	0.6	5.1	0.21	7.2	152.5	21.2	1.3	3.9
	5	5.0	140.0	5.7	0.12	0.9	0.5	4.8	0.21	5.6	198.2	19.2	8.8	5.0
	10	4.6	108.9	5.5	0.13	0.9	0.5	4.7	0.21	3.6	87.9	15.3	13.5	8.3
	20	4.6	185.9	5.1	0.10	0.9	0.5	4.7	0.19	4.3	102.8	15.7	37.2	24.3
	40	4.7	204.1	7.3	0.09	0.9	0.4	4.7	0.24	3.7	108.9	19.8	66.4	47.2
	Média	4.8b	155.8a	5.8b	0.13a	0.9a	0.5a	4.8a	0.21 ^a	4.9a	130.1a	18.2a	25.4a	17.7a
BRS 245 RR (+Gly)	0	5.0	155.2	5.3	0.16	1.0	0.5	4.8	0.20	6.2	112.9	21.6	1.1	0.6
	5	4.9	160.8	4.3	0.14	0.9	0.4	4.8	0.24	4.5	99.2	18.3	8.8	5.2
	10	5.0	139.8	4.9	0.13	1.0	0.6	4.8	0.24	4.8	110.2	19.1	17.4	10.0
	20	4.8	124.3	5.0	0.12	0.8	0.4	4.6	0.21	3.5	104.8	17.3	28.2	17.6
	40	5.0	150.4	6.3	0.10	0.9	0.5	4.7	0.23	3.9	125.4	17.7	68.5	44.8
	Média	5.0a	146.1a	5.2c	0.13a	0.9a	0.5a	4.8a	0.23 ^a	4.6a	110.5b	18.8a	24.8a	15.6a
Teste F														
Cultivares (a)		2,82 ^{NS}	1,86 ^{NS}	31,11*	1,50 ^{NS}	1,32 ^{NS}	0,69 ^{NS}	2,09 ^{NS}	1,46 ^{NS}	7,29*	7,81*	13,56*	2,52 ^{NS}	2,91 ^{NS}
Doses (b)		3,81*	16,76*	10,62*	1,73 ^{NS}	2,52 ^{NS}	1,19 ^{NS}	2,39 ^{NS}	1,85 ^{NS}	19,60*	12,44*	79,95*	481,27*	287,64*
a × b		1,72 ^{NS}	2,80*	5,79*	1,91 ^{NS}	1,05 ^{NS}	2,32 ^{NS}	1,65 ^{NS}	0,81 ^{NS}	12,50*	11,37*	15,30*	2,60 ^{NS}	1,99 ^{NS}
Média		4,9	152,9	5,9	0,13	0,9	0,5	4,8	0,22	4,5	126,3	18,14	24,3	16,2
Desvio padrão		0,2	19,2	0,6	0,02	0,1	0,05	0,6	0,03	0,6	22,8	1,24	4,0	2,8
CV%		5,11	12,58	9,57	11,97	9,81	9,16	12,07	14,37	12,68	18,03	6,86	16,50	17,44

*significativo a 5% de probabilidade, ^{NS}não significativo. CTC – capacidade de troca de cátions (ΣK, Ca, Mg, H+Al). Zn (a) – Extrator Mehlich 1. Zn (b) extrator DTPA-TEA. CV – coeficiente de variação. * Médias seguidas por letra distintas entre a média das cultivares diferem entre so a 5% pelo teste de Tukey.

Fonte: Do próprio autor.

Tabela 2 - Teor dos nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn) na folha diagnóstico da soja convencional BRS 133 e transgênica BRS 245RR com (+Gly) e sem (-Gly) aplicação do herbicida glifosato em resposta as doses de Zn.

Cultivares	Dose de Zn mg kg ⁻¹	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
		g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹					
BRS 133	0	20.8	6.5	19.5	6.6	3.2	3.1	92.4	5.1	71.6	136.5	15.7	
	5	20.8	5.5	20.6	8.4	3.5	3.5	64.4	5.2	75.7	138.0	50.8	
	10	30.7	4.7	20.0	8.0	3.7	4.1	62.1	5.5	91.2	161.1	76.6	
	20	34.0	4.6	23.8	9.0	4.2	4.1	71.0	5.8	100.7	195.5	142.7	
	40	17.8	3.3	18.9	6.9	3.2	2.8	70.7	4.1	59.3	182.2	331.1	
	Média	24.8a	4.9a	20.6a	7.8a	3.5a	3.5a	72.1a	5.2b	79.7b	162.7a	123.4a	
BRS 245 RR (-Gly)	0	24.0	4.8	23.3	7.4	3.2	2.9	51.7	5.1	85.9	123.9	22.1	
	5	21.1	4.2	17.3	5.7	2.7	2.4	53.0	5.7	78.9	95.1	47.2	
	10	22.6	3.5	17.6	6.2	2.8	3.3	52.4	5.1	75.2	135.8	97.9	
	20	23.3	3.9	15.2	6.2	2.8	2.3	48.3	5.0	72.3	143.1	111.9	
	40	19.6	3.1	13.2	4.4	2.5	2.0	51.3	4.1	65.3	126.2	233.5	
	Média	22.1b	3.9c	17.3b	6.0b	2.8b	2.6b	51.3b	5.0b	75.5b	124.8b	102.5b	
BRS 245 RR (+Gly)	0	22.5	5.2	17.1	8.0	3.5	3.0	64.6	8.2	85.3	126.4	20.1	
	5	19.3	4.4	18.5	6.2	2.8	2.4	52.6	6.4	73.3	106.0	47.5	
	10	23.3	4.5	19.6	6.6	3.2	2.8	58.0	7.5	124.5	122.3	64.4	
	20	22.0	4.5	16.6	6.1	3.0	2.6	56.4	7.0	73.1	133.6	154.3	
	40	19.8	4.3	17.0	5.5	2.8	2.2	61.9	6.2	91.9	144.5	214.9	
	Média	21.4b	4.6b	17.8b	6.5b	3.0b	2.6b	58.7b	7.1a	89.7a	126.6b	100.2b	
Teste F													
Cultivares (a)		13,40*	24,83*	58,93*	23,26*	32,26*	31,31*	88,62*	41,49*	18,54*	50,93*	37,92*	
Doses (b)		25,05*	10,43*	20,99*	6,99*	6,15*	9,92*	13,12*	5,35*	18,83*	20,94*	261,48*	
a × b		10,77*	11,87*	27,34*	4,65*	4,23*	3,05*	6,93*	1,75 ^{NS}	17,65*	3,20*	45,11*	
Média		22,8	4,5	18,6	6,7	3,1	2,9	60,7	5,8	81,6	138,0	108,7	
Desvio padrão		2,2	0,5	1,0	0,9	0,3	0,4	5,0	0,8	7,5	13,4	9,2	
CV%		9,64	10,53	5,49	12,82	9,12	14,61	8,24	13,86	9,25	9,70	8,52	

*significativo a 5% de probabilidade, ^{NS} não significativo. CV – coeficiente de variação. Médias seguidas por letra distintas entre a média das cultivares diferem entre so a 5% pelo teste de Tukey.

Fonte: Do próprio autor.

Tabela 3 - Teor dos nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn) nos grãos da soja convencional BRS 133 e transgênica BRS 245RR com (+Gly) e sem (-Gly) aplicação do herbicida glifosato em resposta as doses de Zn.

Cultivares	Dose de Zn mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹				
		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
BRS 133	0	60.4	6.3	18.6	2.6	2.7	3.5	35.2	8.2	72.5	44.0	27.8
	5	62.1	6.0	19.6	2.1	2.9	3.3	28.0	8.2	53.9	44.6	46.0
	10	60.6	4.5	18.6	1.5	2.9	3.3	20.4	5.5	49.2	45.0	46.2
	20	64.0	4.5	18.1	1.8	2.7	3.3	20.8	7.1	60.3	49.1	55.1
	40	56.1	6.9	19.2	2.2	3.0	3.2	29.3	7.1	52.7	29.7	75.4
	Média	60.6b	5.7a	18.8a	2.0a	2.8a	3.3a	26.7a	7.2	57.7b	42.5a	50.1a
BRS 245 RR (-Gly)	0	61.1	5.3	17.3	1.6	2.6	2.6	27.1	6.9	59.1	32.2	21.0
	5	60.1	5.4	18.7	2.0	2.9	2.9	22.5	7.0	66.1	53.9	41.9
	10	61.3	4.6	18.0	1.6	2.6	3.0	25.0	7.6	49.1	35.3	47.6
	20	60.4	5.1	18.3	1.6	2.6	3.1	25.4	6.4	43.3	42.1	60.5
	40	55.9	5.6	18.4	1.9	2.5	3.1	28.4	6.1	50.5	39.3	68.2
	Média	59.8b	5.2b	18.1b	1.7b	2.6b	2.9b	25.7a	6.8	53.6b	40.5a	47.9b
BRS 245 RR (+Gly)	0	62.2	5.3	17.4	1.9	2.5	2.7	25.6	8.2	74.7	36.4	19.6
	5	60.1	5.1	18.2	1.5	2.6	3.1	24.2	6.6	48.8	34.4	38.9
	10	61.3	5.1	18.5	1.6	2.7	2.7	22.3	6.6	52.3	31.4	45.5
	20	64.2	5.4	17.2	1.7	2.7	2.7	29.2	7.9	57.1	34.2	55.3
	40	61.3	5.9	18.0	2.0	2.9	2.9	29.6	7.0	79.6	34.1	69.6
	Média	61.8a	5.4b	17.8b	1.7b	2.7b	2.8b	26.2a	7.2	62.5a	34.1b	45.8c
Teste F												
Cultivares (a)		4,47*	9,18*	22,31*	21,38*	21,08*	49,30*	2,14 ^{NS}	4,31*	7,51*	15,49*	32,50*
Doses (b)		8,53*	28,26*	11,85*	15,86*	7,78*	1,55 ^{NS}	38,47*	9,20*	11,77*	7,54*	330,38*
a × b		2,28*	8,59*	2,81*	7,89*	5,16*	4,39*	21,56*	9,28*	7,56*	6,50*	11,90*
Média		60,7	5,4	18,3	1,8	2,7	3,0	26,2	7,0	57,9	39,1	47,9
Desvio padrão		3,4	0,3	0,5	0,2	0,1	0,2	1,6	0,5	7,3	5,0	1,7
CV%		5,61	6,54	2,67	9,61	5,01	5,24	6,21	7,89	12,54	12,78	3,55

*significativo a 5% de probabilidade, ^{NS} não significativo. CV – coeficiente de variação. Médias seguidas por letra distintas entre a média das cultivares diferem entre so a 5% pelo teste de Tukey.

Fonte: Do próprio autor.

Tabela 4 - Equações de regressão e coeficientes de correlação entre os teores foliares dos nutrientes na folha diagnóstico nas cultivares BRS 133, BRS 245RR (-Gly) e BRS 245RR (+Gly) com a produção de grãos (PG) de soja.

Nutrientes	Equação de regressão	r	Teor máximo do nutriente absorvido (folha)	Produção de grãos (g/vaso)
BRS 133				
N (g kg ⁻¹)	$\hat{y} = -16,687 + 2,2194x$	0,860*	34,0	58,8
P (g kg ⁻¹)	$\hat{y} = 3,626 + 24,966x - 3,454x^2$	0,638*	3,6	47,6
K (g kg ⁻¹)	$\hat{y} = -67,734 + 5,159x$	0,622*	23,8 ⁽¹⁾	55,0
Ca (g kg ⁻¹)	$\hat{y} = -22,560 + 7,836x$	0,629*	9,0 ⁽¹⁾	48,0
Mg (g kg ⁻¹)	$\hat{y} = -40,725 + 22,342x$	0,654*	4,2 ⁽¹⁾	53,1
S (g kg ⁻¹)	$\hat{y} = -28,110 + 18,897x$	0,774*	4,1 ⁽¹⁾	49,4
B (mg kg ⁻¹)	$\hat{y} = 99,967 - 0,854x$	-0,601*	92,4 ⁽¹⁾	21,0
Cu (mg kg ⁻¹)	$\hat{y} = -197,560 + 77,767x - 6,094x^2$	0,719*	6,4	50,6
Fe (mg kg ⁻¹)	$\hat{y} = -130,320 + 3,384x - 0,015x^2$	0,849*	110,6	56,8
Mn (mg kg ⁻¹)	$\hat{y} = -210,250 + 2,874x - 0,008x^2$	0,471 ^{NS}	179,6	47,8
Zn (mg kg ⁻¹)	$\hat{y} = 17,713 + 0,504x - 0,002x^2$	0,908*	126,0	49,5
BRS 245RR (-Gly)				
N (g kg ⁻¹)	$\hat{y} = 13,695 + 1,265x$	0,404 ^{NS}	23,3 ⁽²⁾	-
P (g kg ⁻¹)	$\hat{y} = -76,061 + 53,936x - 5,876x^2$	0,649*	4,6	47,7
K (g kg ⁻¹)	$\hat{y} = -121,18 + 17,546x - 0,451x^2$	0,765*	19,4	49,5
Ca (g kg ⁻¹)	$\hat{y} = -72,428 + 35,975x - 2,720x^2$	0,822*	6,6	46,5
Mg (g kg ⁻¹)	$\hat{y} = -398,33 + 302,190x - 51,241x^2$	0,669*	2,9	47,1
S (g kg ⁻¹)	$\hat{y} = -28,425 + 46,811x - 7,317x^2$	0,499*	3,2	46,4
B (mg kg ⁻¹)	$\hat{y} = 28,521 + 0,256x$	0,134 ^{NS}	48,3 ⁽²⁾	-
Cu (mg kg ⁻¹)	$\hat{y} = -42,084 + 25,842x - 1,780x^2$	0,735*	7,2	51,7
Fe (mg kg ⁻¹)	$\hat{y} = -323,950 + 9,246x - 0,058x^2$	0,718*	79,7	44,5
Mn (mg kg ⁻¹)	$\hat{y} = 36,680 + 0,040x$	0,009 ^{NS}	143,1 ⁽²⁾	-
Zn (mg kg ⁻¹)	$\hat{y} = 36,325 + 0,229x - 0,001x^2$	0,889*	114,5	49,4
BRS 245RR (+Gly)				
N (g kg ⁻¹)	$\hat{y} = 22,589 + 0,856x$	0,203 ^{NS}	21,4 ⁽²⁾	-
P (g kg ⁻¹)	$\hat{y} = 26,954 + 3,051x$	0,135 ^{NS}	4,6 ⁽²⁾	-
K (g kg ⁻¹)	$\hat{y} = -70,234 + 6,252x$	0,797*	19,6 ⁽¹⁾	52,3
Ca (g kg ⁻¹)	$\hat{y} = -172,28 + 61,692x - 4,350x^2$	0,585*	7,1	46,4
Mg (g kg ⁻¹)	$\hat{y} = 19,887 + 6,915x$	0,246 ^{NS}	3,0 ⁽²⁾	-
S (g kg ⁻¹)	$\hat{y} = 26,548 + 5,506x$	0,266 ^{NS}	2,6 ⁽²⁾	-
B (mg kg ⁻¹)	$\hat{y} = 78,141 - 0,635x$	-	58,7 ⁽²⁾	-
Cu (mg kg ⁻¹)	$\hat{y} = 31,504 + 1,328x$	0,359 ^{NS}	-	-
Fe (mg kg ⁻¹)	$\hat{y} = 31,052 + 0,120x$	0,163 ^{NS}	7,1 ⁽²⁾	-
Mn (mg kg ⁻¹)	$\hat{y} = 111,710 - 0,560x$	0,231 ^{NS}	89,7 ⁽²⁾	-
Zn (mg kg ⁻¹)	$\hat{y} = 111,710 - 0,560x$	-0,817*	122,3 ⁽¹⁾	43,2
Zn (mg kg ⁻¹)	$\hat{y} = 46,037 + 0,058x - 0,001x^2$	0,878*	29,0	46,9

*significativo a 5% de probabilidade, ^{NS} não significativo.

Fonte: Do próprio autor.

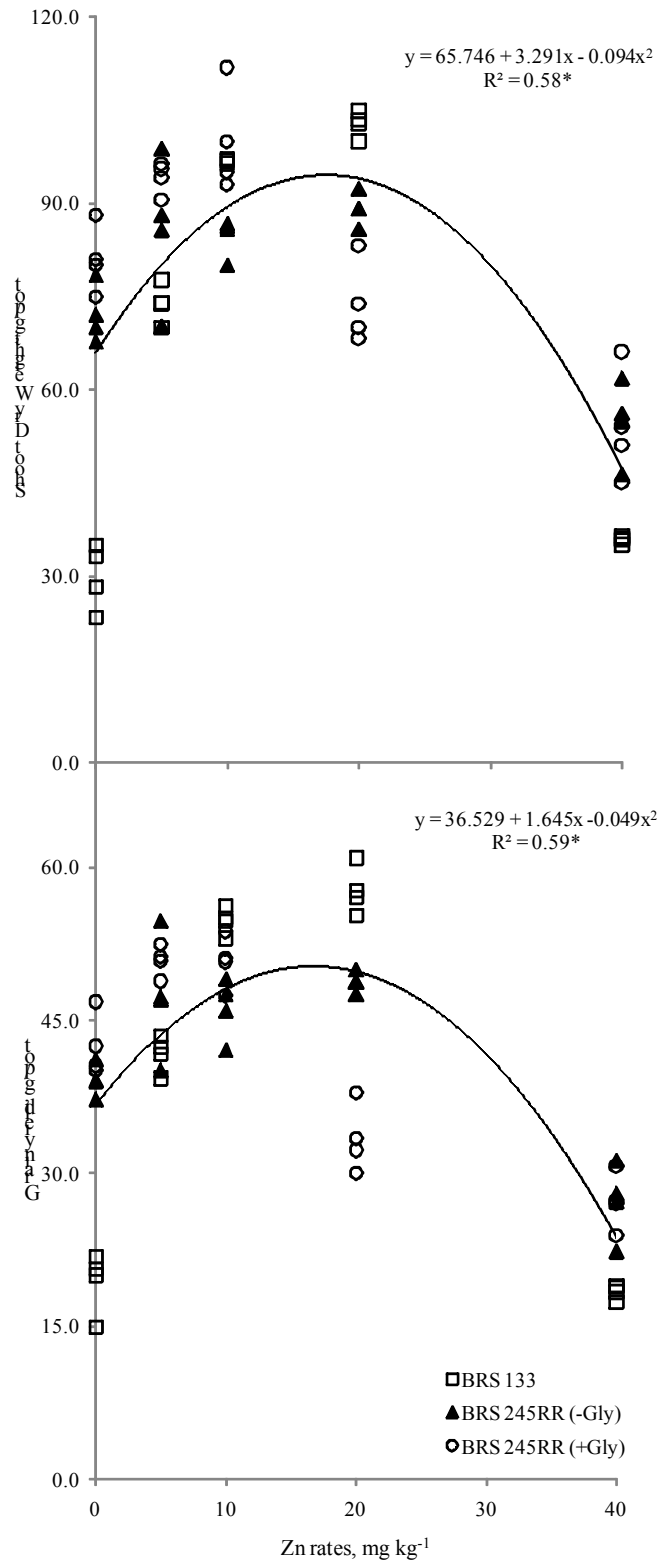
Tabela 5 - Taxa fotossintética (A), concentração intercelular de CO₂ (CiCO₂), condutância estomática (Gs), taxa transpiratória (T_{mmol}), eficiência de uso de H₂O (EUH₂O) e clorofila nas folhas de soja convencional BRS 133 e transgênica BRS 245RR com (+Gly) e sem (-Gly) aplicação do herbicida glifosato em resposta as doses de Zn.

Cultivares	Dose de Zn	Taxa Fotossintética	Condutância estomática	Concentração intercelular de CO ₂	Taxa Transpiratória	Eficiência de uso de água	Clorofila
	mg kg ⁻¹	□ mol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹	mol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹	□ mol CO ₂ mol ⁻¹	mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹	□ mol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹	mg m ⁻²
BRS 133	0	16.044	0.501	284.063	4.444	3.653	229.021
	5	17.511	0.715	302.654	5.905	2.969	196.943
	10	21.922	0.640	278.310	5.768	3.803	259.646
	20	22.436	0.891	291.146	6.405	3.507	239.251
	40	13.985	0.475	299.656	5.073	2.761	210.520
	Média	18.380a	0.645a	291.166a	5.519a	3.339a	227.076a
BRS 245 RR (-Gly)	0	15.633	0.582	300.714	5.370	2.912	195.681
	5	13.780	0.434	284.699	4.761	3.073	211.656
	10	16.448	0.452	276.013	5.105	3.254	209.699
	20	18.277	0.608	274.894	5.781	3.291	204.458
	40	15.006	0.349	267.139	4.417	3.441	222.896
	Média	15.829b	0.485b	280.692a	5.087a	3.194a	208.878b
BRS 245 RR (+Gly)	0	17.143	0.573	289.613	5.754	2.966	176.358
	5	17.069	0.462	276.809	5.110	3.328	183.052
	10	16.280	0.522	288.811	5.316	3.061	203.005
	20	17.283	0.568	288.228	5.808	2.974	204.268
	40	15.829	0.534	285.901	5.562	2.867	197.070
	Média	16.721b	0.532b	285.872a	5.510a	3.039a	192.751c
Teste F							
Cultivares (a)		6,30*	5,12*	1,66 ^{NS}	2,02 ^{NS}	2,30 ^{NS}	16,25*
Doses (b)		7,03*	3,33*	0,57 ^{NS}	2,80*	1,09 ^{NS}	4,06*
a × b		2,82*	1,57 ^{NS}	1,51 ^{NS}	1,76 ^{NS}	2,29*	2,67*
Média		16,976	0,554	285,909	5,371	3,191	209,568
Desvio padrão		2,307	0,162	18,183	0,778	0,601	19,050
CV%		13,59	29,28	6,36	14,48	18,83	9,09

*significativo a 5% de probabilidade, ^{NS}não significativo. CV – coeficiente de variação. Médias seguidas por letra distintas entre a média das cultivares diferem entre so a 5% pelo teste de Tukey.

Fonte: Do próprio autor.

Figura 2 - Produção de matéria seca total (MSPA) e de grãos (PG) em função das doses de Zn e aplicação do herbicida glifosato. Significativo a 5% de probabilidade.



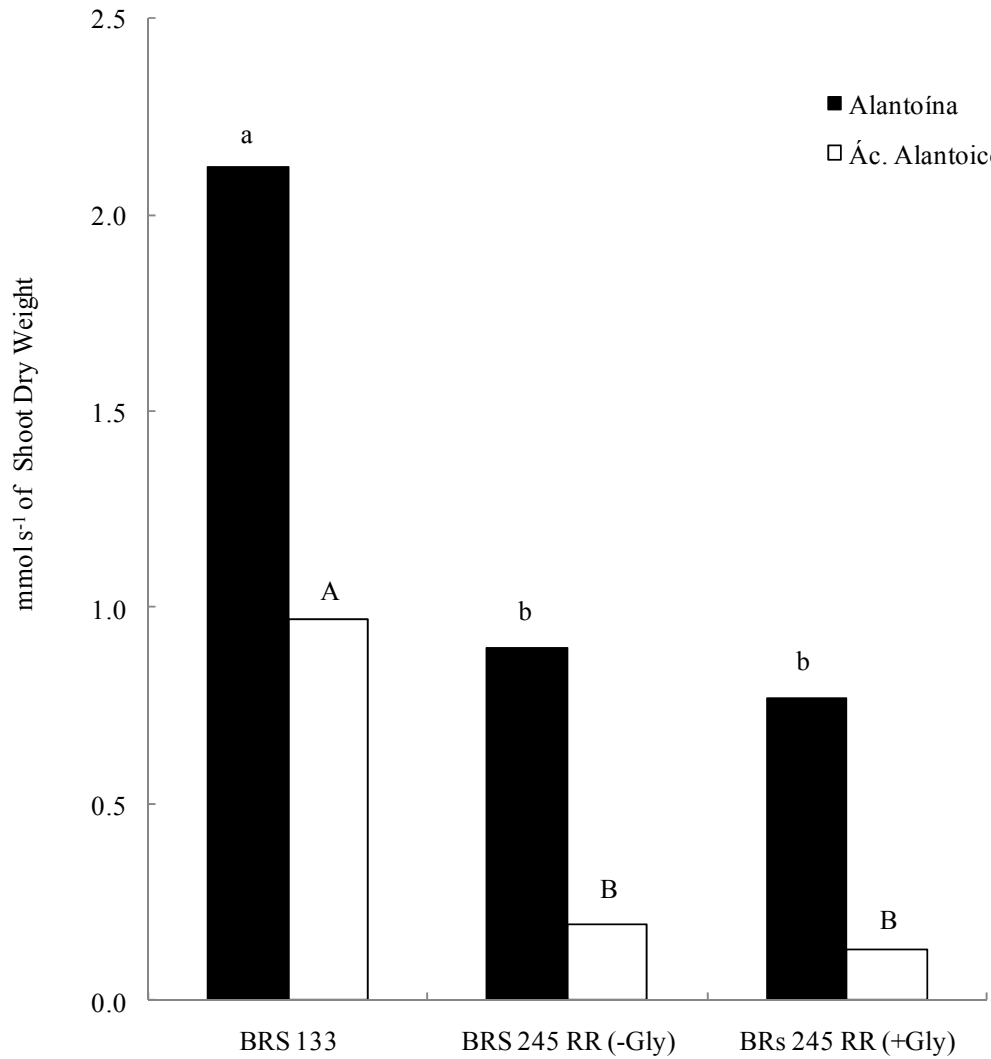
Fonte: Do próprio autor.

Figura 3 - Amarelecimento das folhas velhas (estádio V₆) e pequenas manchas necróticas irregulares (V₃) na soja BRS 245RR por ocasião da aplicação do herbicida glifosato.



Fonte: Do próprio autor.

Figura 4 - Teores dos ureídeos alantoína (CV = 29,01%) e ácido alantóico (CV = 38,26% na média das doses de Zn na soja convencional (BRS 133) e transgênica (BRS 245RR) com (+Gly) e sem (-Gly) aplicação do herbicida glifosato. Médias seguidas por letras distintas minúsculas nas colunas pretas e maiúsculas nas colunas brancas diferem entre si a 5% pelo teste de Snott-Knott.



Fonte: Do próprio autor.

5.2 EXPERIMENTO 2

5.2.1 Fertilidade do Solo e Avaliação de Extratores

Nas condições de campo, somente o P disponível no tratamento sem aplicação de glifosato na soja BRS 245RR cultivada no Neossolo Quatzarênico distrófico de Três Lagoas foi influenciado pelas doses de e Zn (Tabelas 6 e 7). Verificou-se que o índice pH e os teores de P, K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , $S-SO_4^{2-}$, B, Cu, Fe, Mn e Zn ficaram dentro ou próximo das faixas indicadas como adequadas para o cultivo da soja nos trópicos (TPS, 2013). Com relação às cultivares BRS 133 e BRS 245RR sem e com aplicação do herbicida, estas não apresentaram interação cultivares \times doses de Zn ($p \leq 0,05$) sobre os teores dos nutrientes no solo. A ausência de efeito das doses de Zn sobre os atributos químicos do solo também foi verificado por Ritchey et al. (1986).

Os extratores Mehlich 1 (M1) e DTPA-TEA apresentaram alto coeficiente de correlação, independentemente do tipo de solo e aplicação ou não de glifosato (Figura 5). Verificou-se que o extrator M1 apresentou maior taxa de recuperação de Zn que o DTPA-TEA. Tais resultados corroboram os de Abreu e Raij (1996), que ao compararem estes dois extratores, observaram que a maior capacidade de extração da solução de M1 se deve acidez elevada do meio ($0,0625 \text{ mol H}^+ \text{ L}^{-1}$), solubilizando formas oclusas de Zn no solo indisponíveis para as plantas, enquanto a solução de DTPA-TEA, por apresentar reação alcalina (pH = 7,3), não solubilizou.

Na correlação com o teor foliar o teor de Zn disponível no solo com os extratores M1 e DTPA-TEA, estes, foram semelhante aos observados por Abreu e Raij (1996) e Oliveira et al. (2003), apresentaram correlação significativa ($p \leq 0,05$), em geral se comportaram de modo semelhante na sua relação com os teores de Zn no tecido foliar, no entanto, observou-se que solução extratora DTPA-TEA, apresentou os maiores coeficientes de correlação ($r = 0,78, 0,81 \text{ e } 0,78, p \leq 0,05$), independentemente do tipo de solo e do manejo adotado (Figuras 6 e 7).

Os dois extratores tiveram relações lineares semelhantes com significância positiva com as doses aplicadas, sendo as seguintes equações para as cultivares BRS 133, BRS 245RR (-gly), BRS 245RR (+gly) e a média dos três tipos

de manejo nas duas localidades. x = dose de Zn em kg/ha e \hat{y} = teor no solo em mg dm^{-3} :

a) Três Lagoas, MS

Extrator Mehlich 1

BRS 133 – $\hat{y} = 0,529 + 0,201*x$, $R^2 = 0,40$, $p \leq 0,05$;

BRS 245RR (-gly) – $\hat{y} = 0,389 + 0,195*x$, $R^2 = 0,48$, $p \leq 0,05$;

BRS 245RR (+gly) – $\hat{y} = 0,555 + 0,151*x$, $R^2 = 0,66$, $p \leq 0,05$;

Total – $\hat{y} = 0,491 + 0,182*x$, $R^2 = 0,41$, $p \leq 0,05$.

Extrator DTPA-TEA

BRS 133 – $\hat{y} = 0,488 + 0,115*x$, $R^2 = 0,44$, $p \leq 0,05$;

BRS 245RR (-gly) – $\hat{y} = 0,416 + 0,126*x$, $R^2 = 0,50$, $p \leq 0,05$;

BRS 245RR (+gly) – $\hat{y} = 0,561 + 0,092*x$, $R^2 = 0,57$, $p \leq 0,05$;

Total – $\hat{y} = 0,489 + 0,111*x$, $R^2 = 0,48$, $p \leq 0,05$.

b) Ponta Grossa, PR

Extrator Mehlich 1

BRS 133 – $\hat{y} = 0,515 + 0,263*x$, $R^2 = 0,58$, $p \leq 0,05$;

BRS 245RR (-gly) – $\hat{y} = 0,919 + 0,185*x$, $R^2 = 0,40$, $p \leq 0,05$;

BRS 245RR (+gly) – $\hat{y} = 1,019 + 0,123*x$, $R^2 = 0,55$, $p \leq 0,05$;

Total – $\hat{y} = 0,817 + 0,190*x$, $R^2 = 0,44$, $p \leq 0,05$.

Extrator DTPA-TEA

BRS 133 – $\hat{y} = 0,361 + 0,125*x$, $R^2 = 0,51$, $p \leq 0,05$;

BRS 245RR (-gly) – $\hat{y} = 0,386 + 0,103*x$, $R^2 = 0,40$, $p \leq 0,05$;

BRS 245RR (+gly) – $\hat{y} = 0,403 + 0,082*x$, $R^2 = 0,70$, $p \leq 0,05$;

Total – $\hat{y} = 0,383 + 0,104*x$, $R^2 = 0,47$, $p \leq 0,05$.

Esses valores obtidos nas duas condições edafoclimáticas demonstram que os dois extratores forneceram informações semelhantes na avaliação do nível de Zn disponível no solo. Deve-se levar em consideração que o extrator M1 além de extrair Zn também pode ser utilizado na P, K, Ca, Mg, Cu, Fe e Mn no mesmo extrato, o que permite a determinação desses nutrientes em apenas uma extração (OLIVEIRA et al., 2003).

5.2.2 Produção de Grãos

Nas duas condições edafoclimáticas, a ausência de aplicação do glifosato acarretou em efeito quadrático, com as maiores produções estimadas obtidas com a aplicação de 12,7 kg/ha (BRS 133) e 5,9 kg/ha (BRS 245 RR (-gly)) em Três Lagoas (MS) e 6,1 kg/ha e 4,2 kg/ha em Ponta Grossa (PR), respectivamente, enquanto no tratamento BRS 245RR (+gly), houve efeito linear (Figura 8). Este resultado demonstra que com aplicação do glifosato ocorre inibição na absorção do Zn diminuindo o provável efeito de fitotoxicidade do elemento na planta, fato esse também verificado por Zobiole et al. (2010).

Observou-se também, que independente dos locais de cultivo e das doses de Zn, a cultivar transgênica BRS 245 RR com e sem aplicação de glifosato apresentou as maiores produtividades de grãos quando comparada com a convencional BRS 133 (Figura 8). Rosolem et al. (2010) verificou que a presença do gene de resistência ao herbicida (RR) na planta não altera a produtividade da soja.

5.2.3 Dados Fitotécnicos

Os dados fitotécnicos [altura, teor de clorofila, número de grãos por planta (NSP) e por vagem (NSV), matéria seca total (MST) e peso de 100 sementes, são apresentados na Tabela 8. Verificou-se que somente a MST e o NSV foram influenciados pelos tratamentos nos dois locais cultivados com interação significativa da cultivar × dose. Com relação à altura das plantas, mesmo a cultivar BRS 245RR ser uma essencialmente derivada da BRS 133, esta teve os maiores valores, independentemente da aplicação ou não de glifosato. De acordo com Baligar et al. (2001), fatores genéticos são principais responsáveis por essa variável.

5.2.4 Teor dos Nutrientes nas Folhas e nos Grãos

Na área cultivada em Três Lagoas (MS), a aplicação de Zn alterou os teores foliares de B e Fe, enquanto em Ponta Grossa somente de Fe (Tabelas 9 e 10). Apesar desses efeitos os teores ficaram dentro dos níveis considerados adequados por TPS (2013), sendo o mesmo verificado para os grãos (Tabelas 11 e 12), cujos mesmos teores nas duas localidades foram influenciados pelos

tratamentos. Observou-se também, que na menor dose de Zn em Três Lagoas as plantas apresentaram sintomas visuais de deficiência de Zn (Figura 9).

Tabela 6 - Atributos químicos do Neossolo Quartzarênico distrófico em função das doses de Zn dentro das cultivares de soja convencional BRS 133 e BRS 245 RR sem (-gly) e com (+gly) aplicação de glifosato em Três Lagoas, MS.

Atributos do solo	Zinco, mg kg ⁻¹					Média	Teste F
	0	3	6	9	12		
	BRS 133						
pH, CaCl ₂	5.72	5.83	5.72	5.94	5.90	5.82	NS
C, g kg ⁻¹	7.81	7.71	7.66	7.65	6.87	7.54	NS
P - M1, mg kg ⁻¹	20.06	20.21	20.41	19.95	19.32	19.99	NS
K, cmol _c dm ⁻³	0.12	0.11	0.11	0.10	0.08	0.10	NS
Ca, cmol _c dm ⁻³	1.55	1.55	1.49	1.46	1.27	1.46	NS
Mg, cmol _c dm ⁻³	0.78	0.77	0.75	0.74	0.68	0.74	NS
Al, cmol _c dm ⁻³	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NS
H+Al, cmol _c dm ⁻³	1.94	1.86	1.93	1.76	1.69	1.83	NS
CTC, cmol _c dm ⁻³	4.38	4.29	4.28	4.06	3.71	4.14	NS
V, %	55.96	57.07	55.04	57.06	54.79	55.98	NS
S-SO ₄ , mg kg ⁻¹	5.84	5.59	5.49	5.27	5.46	5.53	NS
B, mg kg ⁻¹	0.20	0.19	0.19	0.17	0.18	0.19	NS
Cu - DTPA, mg kg ⁻¹	0.37	0.33	0.39	0.38	0.41	0.38	NS
Cu - M1, mg kg ⁻¹	0.68	0.62	0.69	0.73	0.85	0.71	NS
Fe - M1, mg kg ⁻¹	52.00	48.70	47.13	44.13	46.50	47.69	NS
Mn - DTPA, mg kg ⁻¹	1.77	1.65	1.85	1.78	2.08	1.82	NS
Mn - M1, mg kg ⁻¹	23.75	22.95	23.03	22.03	20.03	22.36	NS
	BRS 245RR (-Gly)						
pH, CaCl ₂	5.82	5.85	5.89	5.67	5.64	5.59	NS
C, g kg ⁻¹	7.54	7.02	6.95	7.27	7.33	7.34	NS
P - M1, mg kg ⁻¹	19.99	20.07	18.25	16.57	15.12	13.76	*
K, cmol _c dm ⁻³	0.10	0.10	0.08	0.10	0.10	0.09	NS
Ca, cmol _c dm ⁻³	1.46	1.27	1.27	1.23	1.26	1.22	NS
Mg, cmol _c dm ⁻³	0.74	0.66	0.66	0.65	0.64	0.64	NS
Al, cmol _c dm ⁻³	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NS
H+Al, cmol _c dm ⁻³	1.83	1.72	1.69	1.88	1.94	1.98	NS
CTC, cmol _c dm ⁻³	4.14	3.74	3.69	3.86	3.94	3.92	NS
V, %	55.98	54.34	54.54	51.42	51.06	49.85	NS
S-SO ₄ , mg kg ⁻¹	5.53	5.35	5.50	5.78	5.68	5.58	NS
B, mg kg ⁻¹	0.19	0.19	0.19	0.22	0.22	0.24	NS
Cu - DTPA, mg kg ⁻¹	0.45	0.43	0.46	0.43	0.70	0.64	NS
Cu - M1, mg kg ⁻¹	0.91	0.80	0.81	0.72	0.75	0.80	NS
Fe - M1, mg kg ⁻¹	45.53	43.45	44.15	44.45	42.43	44.00	NS
Mn - DTPA, mg kg ⁻¹	2.18	2.01	2.29	2.26	2.26	2.20	NS
Mn - M1, mg kg ⁻¹	19.68	18.65	19.03	18.90	18.30	18.91	NS
	BRS 245RR (+gly)						
pH, CaCl ₂	5.45	5.64	5.64	5.53	5.72	5.59	NS
C, g kg ⁻¹	7.77	7.56	7.35	7.44	7.03	7.43	NS
P - M1, mg kg ⁻¹	18.90	21.28	22.08	22.03	14.96	19.85	NS
K, cmol _c dm ⁻³	0.10	0.09	0.11	0.11	0.10	0.10	NS
Ca, cmol _c dm ⁻³	1.19	1.27	1.21	1.18	1.23	1.22	NS
Mg, cmol _c dm ⁻³	0.64	0.67	0.66	0.63	0.65	0.65	NS
Al, cmol _c dm ⁻³	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NS
H+Al, cmol _c dm ⁻³	2.14	1.96	1.89	1.97	1.77	1.95	NS
CTC, cmol _c dm ⁻³	4.07	3.99	3.87	3.89	3.74	3.91	NS
V, %	47.48	51.03	51.14	49.37	52.68	50.34	NS
S-SO ₄ , mg kg ⁻¹	5.39	5.23	4.98	4.84	4.97	5.08	NS
B, mg kg ⁻¹	0.28	0.27	0.27	0.26	0.22	0.26	NS
Cu - DTPA, mg kg ⁻¹	0.70	0.64	0.64	0.61	0.37	0.59	NS
Cu - M1, mg kg ⁻¹	1.05	0.99	0.99	0.93	0.65	0.92	NS
Fe - M1, mg kg ⁻¹	44.33	43.00	43.70	45.65	45.15	44.37	NS
Mn - DTPA, mg kg ⁻¹	2.58	2.48	2.48	2.53	2.23	2.46	NS
Mn - M1, mg kg ⁻¹	19.23	18.20	16.65	16.63	15.83	17.31	NS

^{NS} não significativo a 5% de probabilidade.

Fonte: Do próprio autor.

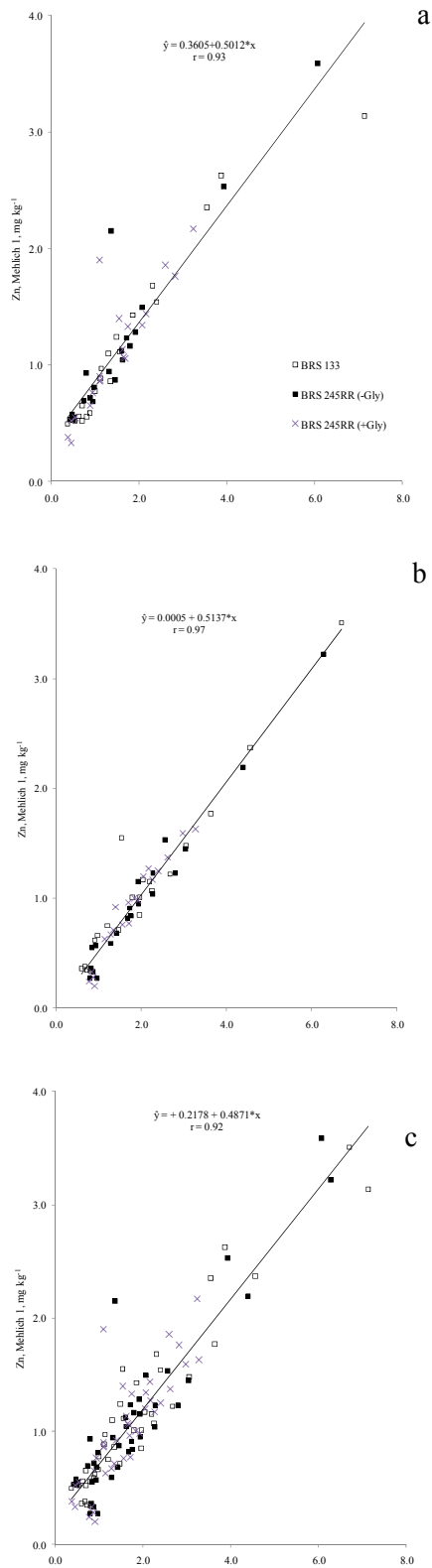
Tabela 7 - Atributos químicos do Latossolo Vermelho Amarelo distrófico em função das doses de Zn dentro das cultivares de soja convencional BRS 133 e BRS 245 RR sem (-gly) e com (+gly) aplicação de glifosato em Ponta Grossa, PR.

Atributos do solo	Zinco, mg kg ⁻¹					Média	Teste F
	0	5	10	20	40		
	BRS 133						
pH, CaCl ₂	5.72	5.90	5.64	5.64	5.66	5.71	NS
C, g kg ⁻¹	7.81	6.87	7.33	7.35	7.93	7.46	NS
P - M1, mg kg ⁻¹	20.06	19.32	15.12	22.08	15.54	18.42	NS
K, cmol _c dm ⁻³	0.12	0.08	0.10	0.11	0.08	0.10	NS
Ca, cmol _c dm ⁻³	1.55	1.27	1.26	1.21	1.32	1.32	NS
Mg, cmol _c dm ⁻³	0.78	0.68	0.64	0.66	0.66	0.68	NS
Al, cmol _c dm ⁻³	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NS
H+Al, cmol _c dm ⁻³	1.94	1.69	1.94	1.89	1.98	1.89	NS
CTC, cmol _c dm ⁻³	4.38	3.71	3.94	3.87	4.04	3.99	NS
V, %	55.96	54.79	51.06	51.14	51.77	52.94	NS
S-SO ₄ , mg kg ⁻¹	5.84	5.46	5.68	4.98	5.95	5.58	NS
B, mg kg ⁻¹	0.20	0.18	0.22	0.27	0.20	0.22	NS
Cu - DTPA, mg kg ⁻¹	0,37	0,41	0,43	0,64	0,45	0,46	NS
Cu - M1, mg kg ⁻¹	0.68	0.85	0.72	0.99	0.76	0.80	NS
Fe - M1, mg kg ⁻¹	52.00	46.50	44.45	43.70	42.05	45.74	NS
Mn - DTPA, mg kg ⁻¹	1,77	2,08	2,26	2,48	2,25	2,17	NS
Mn - M1, mg kg ⁻¹	23.75	20.03	18.90	16.65	18.23	19.51	NS
	BRS 245RR (-gly)						
pH, CaCl ₂	5.75	5.81	5.91	6.01	5.41	5.78	NS
C, g kg ⁻¹	7.53	7.41	7.66	7.16	7.65	7.48	NS
P - M1, mg kg ⁻¹	15.42	16.85	18.85	20.20	13.56	16.98	NS
K, cmol _c dm ⁻³	0.09	0.09	0.09	0.09	0.10	0.09	NS
Ca, cmol _c dm ⁻³	1.34	1.36	1.36	1.42	1.34	1.36	NS
Mg, cmol _c dm ⁻³	0.72	0.72	0.75	0.74	0.59	0.70	NS
Al, cmol _c dm ⁻³	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NS
H+Al, cmol _c dm ⁻³	1.83	1.78	1.84	1.65	2.10	1.84	NS
CTC, cmol _c dm ⁻³	3.97	3.94	4.02	3.89	4.13	3.99	NS
V, %	54.24	54.87	54.88	57.74	49.29	54.20	NS
S-SO ₄ , mg kg ⁻¹	5.98	5.86	6.04	5.49	5.85	5.84	NS
B, mg kg ⁻¹	0.20	0.19	0.20	0.18	0.21	0.20	NS
Cu - DTPA, mg kg ⁻¹	0,44	0,40	0,43	0,41	0,36	0,41	NS
Cu - M1, mg kg ⁻¹	0.74	0.64	0.79	0.71	0.62	0.70	NS
Fe - M1, mg kg ⁻¹	45.08	43.88	47.20	43.08	48.93	45.63	NS
Mn - DTPA, mg kg ⁻¹	2,20	2,09	2,12	1,84	2,52	2,15	NS
Mn - M1, mg kg ⁻¹	17.70	17.03	18.58	16.75	19.15	17.84	NS
	BRS 245RR (+gly)						
pH, CaCl ₂	5.79	5.76	5.30	5.76	5.73	5.67	NS
C, g kg ⁻¹	6.82	7.55	7.21	7.36	8.48	7.48	NS
P - M1, mg kg ⁻¹	17.30	18.46	20.56	11.53	18.27	17.22	NS
K, cmol _c dm ⁻³	0.09	0.08	0.09	0.09	0.11	0.09	NS
Ca, cmol _c dm ⁻³	1.26	1.31	1.15	1.28	1.38	1.27	NS
Mg, cmol _c dm ⁻³	0.64	0.67	0.50	0.68	0.65	0.62	NS
Al, cmol _c dm ⁻³	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NS
H+Al, cmol _c dm ⁻³	1.76	1.79	2.14	1.89	2.17	1.95	NS
CTC, cmol _c dm ⁻³	3.74	3.85	3.87	3.93	4.31	3.94	NS
V, %	52.98	53.57	44.83	52.40	51.52	51.06	NS
S-SO ₄ , mg kg ⁻¹	6.45	7.80	5.73	5.42	5.42	6.16	NS
B, mg kg ⁻¹	0.19	0.19	0.20	0.19	0.20	0.19	NS
Cu - DTPA, mg kg ⁻¹	0,43	0,410	0,44	0,42	0,51	0,44	NS
Cu - M1, mg kg ⁻¹	0.72	0.71	0.75	0.70	0.84	0.74	NS
Fe - M1, mg kg ⁻¹	37.65	48.20	44.43	43.43	45.55	43.85	NS
Mn - DTPA, mg kg ⁻¹	1,82	2,19	2,41	2,17	2,54	2,22	NS
Mn - M1, mg kg ⁻¹	14.30	16.65	16.48	16.85	19.23	16.70	NS

^{NS} não significativo a 5% de probabilidade.

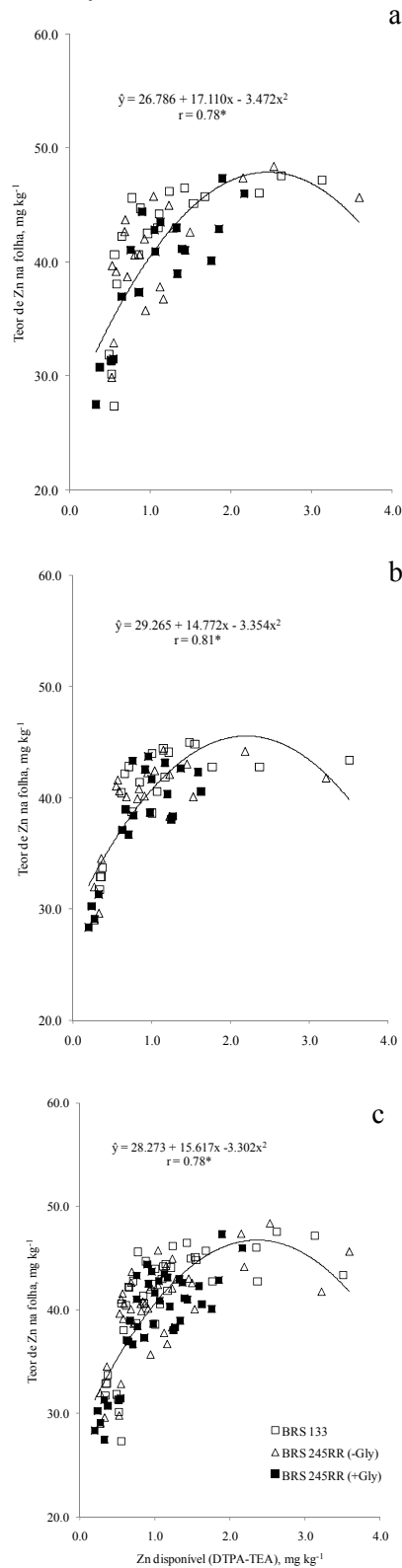
Fonte: Do próprio autor.

Figura 5 - Correlação entre os extratores Mehlich 1 e DTPA-TEA nos solos de Três Lagoas (a), Ponta Grossa (b) e na soma das duas áreas (c). Significativo a 5% de probabilidade.



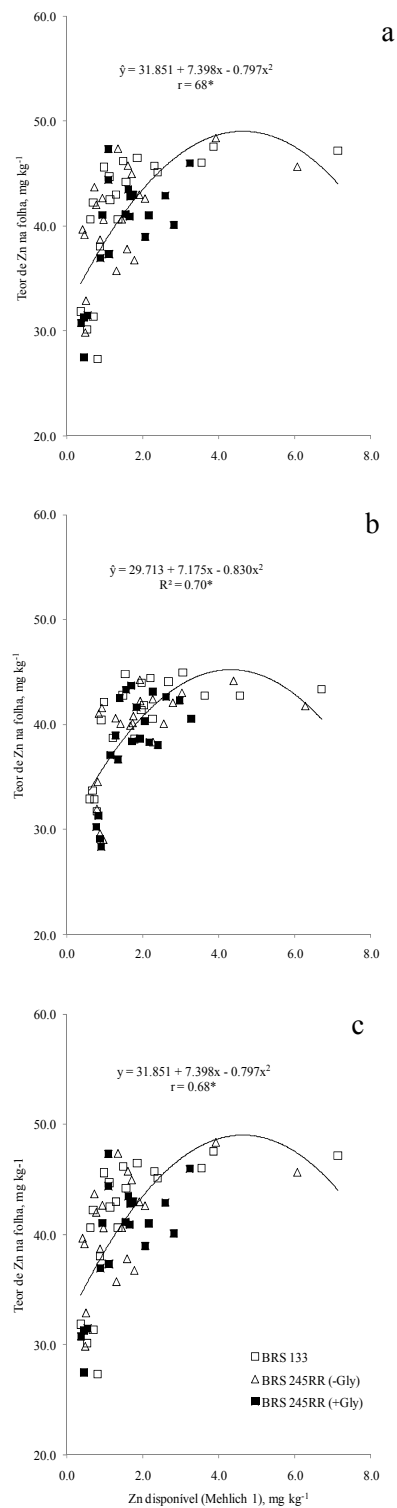
Fonte: Do próprio autor.

Figura 6 - Correlação entre teor de Zn na folha e o extrator DTPA-TEA nos solos de Três Lagoas (a), Ponta Grossa (b) e na soma das duas áreas (c). Significativo a 5% de probabilidade.



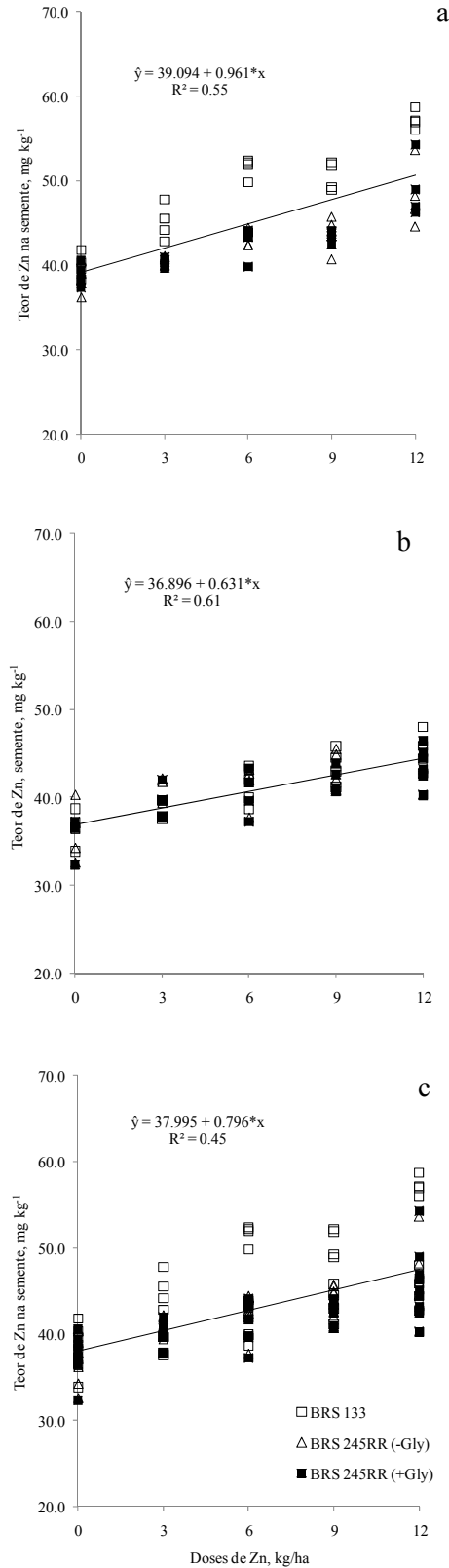
Fonte: Do próprio autor.

Figura 7 - Correlação entre teor de Zn na folha e o extrator Mehlich 1 nos solos de Três Lagoas (a), Ponta Grossa (b) e na soma das duas áreas (c). Significativo a 5% de probabilidade.



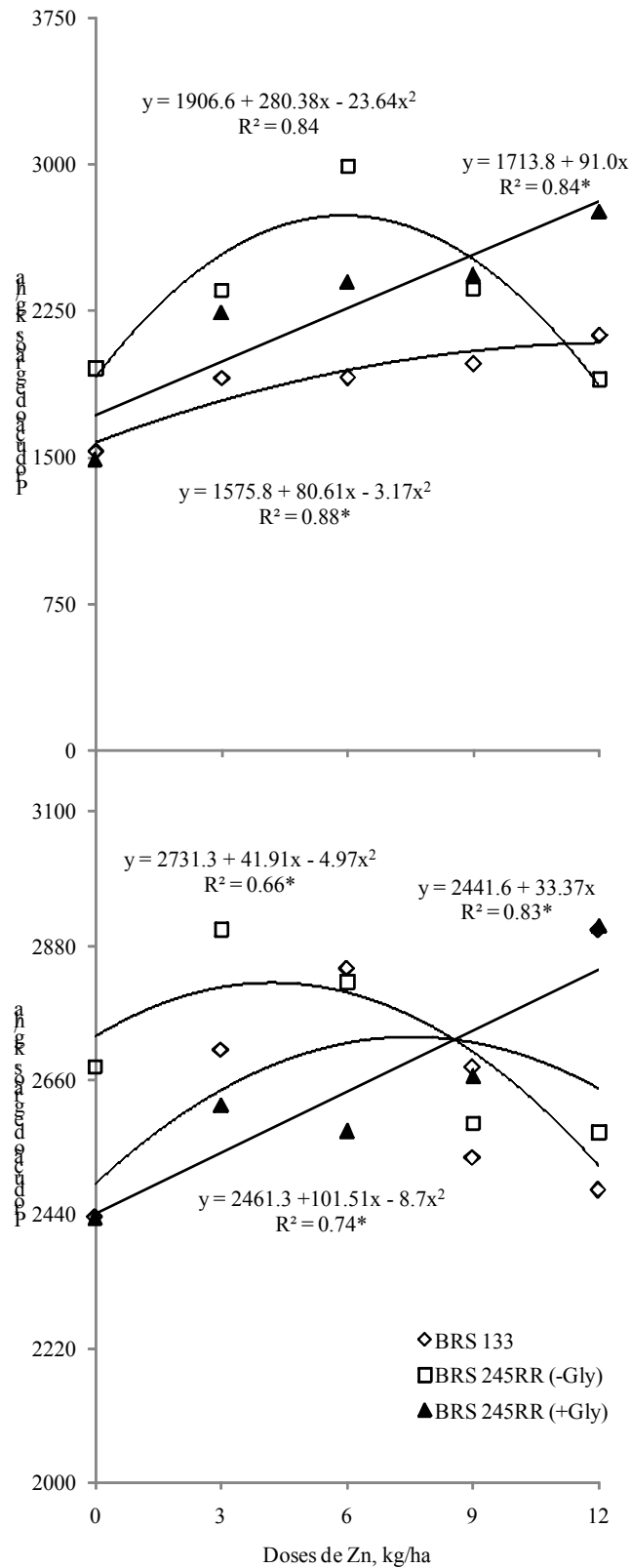
Fonte: Do próprio autor.

Figura 8 - Efeito das doses de Zn sobre o teor de Zn na semente de soja da soja BRS 133 e BRS 245RR com e sem aplicação de glifosato cultivada em Três Lagoas (a), Ponta Grossa (b) e na soma das duas áreas (c). Significativo a 5% de probabilidade. Significativo a 5% de probabilidade.



Fonte: Do próprio autor.

Figura 9 - Efeito das doses de Zn sobre a produtividade da soja BRS 133 e BRS 245RR com e sem aplicação de glifosato cultivada em Três Lagoas (a) e Ponta Grossa (b). Significativo a 5% de probabilidade.



Fonte: Do próprio autor.

Tabela 8 - Dados fitotécnicos da soja cultivada em Três Lagoas (MS) e Ponta Grossa (PR).

Cultivares	Doses kg/ha	Altura		Clorofila		Sementes por vagem		Sementes por planta		Matéria seca total		Peso de 100 sementes	
		Cm		mg m ⁻²		n		g/planta		g			
		Três Lagoas	Ponta Grossa	Três Lagoas	Ponta Grossa	Três Lagoas	Ponta Grossa	Três Lagoas	Ponta Grossa	Três Lagoas	Ponta Grossa	Três Lagoas	Ponta Grossa
BRS 133	0	44.1	86.6	369.0	372.2	1.5	2.5	36.8	65.3	19.2	102.1	15.1	14.2
	3	40.9	85.7	363.6	381.0	1.8	2.5	84.3	75.1	51.0	125.1	15.1	14.8
	6	40.9	89.9	354.7	383.9	2.2	2.4	78.0	64.5	34.1	114.2	14.8	14.8
	9	47.0	86.3	381.7	377.7	2.0	2.4	93.7	61.2	37.7	92.0	15.0	14.3
	12	45.3	84.5	386.6	379.0	1.8	2.5	59.0	74.2	24.1	131.3	14.9	14.6
	Média	43,6b	86,6a	371,1a	378,8a	1,9a	2,5a	70,4c	68,1b	33,2b	112,9b	15,0a	14,5a
BRS 245RR (-Gly)	0	47.1	84.5	374.0	388.8	2.1	2.5	85.0	82.9	31.1	150.9	14.0	14.6
	3	52.0	87.1	380.5	379.4	2.1	2.5	115.3	50.4	49.3	109.7	12.8	14.7
	6	47.0	87.1	374.1	374.4	1.8	2.5	93.7	73.7	28.5	115.4	14.2	14.4
	9	48.4	89.0	376.4	386.0	2.1	2.5	67.0	103.6	23.4	157.1	14.0	14.8
	12	50.3	88.8	377.5	372.4	2.4	2.4	87.7	94.3	38.8	149.7	13.1	15.1
	Média	49,0a	87,3a	376,5a	380,2a	2,1a	2,5a	89,7b	81,0a	34,2b	136,6a	13,6a	14,7a
BRS 245RR (+Gly)	0	47.4	85.2	381.8	363.4	2.1	2.4	62.7	72.1	22.0	124.0	13.1	14.7
	3	47.5	88.2	395.4	378.1	2.1	2.5	88.7	65.0	37.2	105.8	13.6	15.1
	6	49.4	85.0	388.8	377.1	2.2	2.4	158.3	59.8	68.8	103.4	13.7	14.5
	9	46.8	86.6	373.9	382.2	2.2	2.4	127.7	76.3	54.9	119.1	13.6	14.7
	12	51.0	88.2	372.3	365.6	2.3	2.5	111.0	66.1	37.1	107.0	13.4	14.4
	Média	48,4a	86,6a	382,4a	373,3a	2,2a	2,4a	109,7a	67,9b	44,0a	111,9b	13,5a	14,7a
Teste F													
Cultivar* (a)		*	NS	NS	NS	NS	NS	*	*	*	*	NS	NS
Dose (b)		NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	*	*	*	NS	NS
a × b		NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	*	*	*	NS	NS
CV (%)		16,4	17,6	22,1	19,7	17,2	16,4	12,1	18,6	19,8	22,1	20,7	14,2

*significativo a 5% de probabilidade, ^{NS} não significativo. CV – coeficiente de variação. Médias seguidas por letra distintas entre a média das cultivares diferem entre so a 5% pelo teste de Tukey.

Fonte: Do próprio autor.

Tabela 9 - Teores foliares da soja cultivada em Três Lagoas (MS).

Cultivares	Doses kg/ha	g kg ⁻¹					mg kg ⁻¹				
		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn
BRS 133	0	52.6	3.7	23.7	6.2	5.3	2.6	74.6	12.3	128.9	75.1
	3	55.9	4.2	26.5	6.2	5.4	3.0	74.6	10.7	140.9	90.0
	6	53.3	3.7	25.1	6.7	5.4	2.9	78.4	10.1	155.1	98.1
	9	51.5	3.8	26.5	6.2	5.5	2.9	77.2	10.7	157.2	102.6
	12	47.9	3.9	28.4	6.7	5.2	3.2	73.5	10.2	163.4	94.0
	Média	52,2 ^a	3,9 ^a	26,0 ^a	6,4 ^b	5,4 ^a	2,9 ^b	75,7 ^a	10,8 ^a	149,1 ^a	92,0 ^b
BRS 245RR (-Gly)	0	49.4	3.3	24.1	7.2	5.3	3.2	67.4	9.8	126.9	125.9
	3	51.5	3.5	23.8	7.4	5.6	3.6	65.1	9.2	136.7	120.7
	6	51.5	3.4	24.7	7.3	5.5	3.6	60.6	9.9	130.6	108.1
	9	47.7	3.2	21.7	7.1	5.2	3.4	65.2	8.9	133.1	131.2
	12	50.4	3.4	22.5	6.8	5.4	3.4	63.6	9.0	124.6	122.4
	Média	50,1 ^a	3,4 ^a	23,4 ^a	7,2 ^a	5,4 ^a	3,4 ^a	64,4 ^b	9,4 ^A	130,4 ^c	121,7 ^a
BRS 245RR (+Gly)	0	49.9	3.3	20.3	6.4	5.2	3.2	64.9	9.3	133.7	123.8
	3	46.3	3.4	21.3	6.6	5.2	3.5	62.8	9.2	155.9	111.9
	6	50.0	3.5	24.1	6.5	5.1	3.7	57.6	9.6	131.6	121.0
	9	52.2	3.2	22.4	6.3	5.2	3.1	70.8	9.3	138.5	123.4
	12	49.6	3.1	22.4	6.3	4.7	2.8	68.5	9.3	137.4	97.2
	Média	49,6 ^a	3,3 ^a	22,1 ^a	6,4 ^b	5,1 ^a	3,3 ^a	64,9 ^b	9,3 ^a	139,4 ^b	115,5 ^a
Teste F											
Cultivar* (a)		NS	NS	NS	*	NS	*	*	NS	*	*
Dose (b)		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
a × b		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
CV (%)		18,7	16,9	14,6	22,4	11,0	20,9	27,9	15,4	28,7	27,3

*significativo a 5% de probabilidade, ^{NS}não significativo. CV – coeficiente de variação. Médias seguidas por letra distintas entre a média das cultivares diferem entre so a 5% pelo teste de Tukey.

Fonte: Do próprio autor.

Tabela 10 - Teores foliares da soja cultivada em Ponta Grossa (PR).

Cultivares	Doses kg/ha	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹				
		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	
BRS 133	0	48.9	3.0	25.5	8.4	3.7	3.1	61.6	10.8	113.6	49.8	
	3	50.8	3.4	26.2	8.8	3.6	2.9	61.5	11.1	113.1	44.5	
	6	51.1	3.3	25.6	8.8	3.8	3.2	60.1	12.0	120.8	53.0	
	9	51.5	3.4	26.5	8.4	3.8	3.0	62.4	11.0	106.8	49.3	
	12	50.2	3.0	23.4	8.2	3.6	2.9	61.7	13.0	116.1	49.9	
	Média	50,6 ^a	3,2 ^a	25,4 ^a	8,5 ^a	3,7 ^a	3,0 ^a	61,5 ^a	11,6 ^a	114,1 ^b	49,2 ^a	
BRS 245RR (-Gly)	0	49.3	3.3	24.3	7.8	3.8	3.1	56.9	12.2	118.4	40.9	
	3	48.3	3.1	24.7	7.5	3.8	2.9	57.8	12.1	113.1	46.1	
	6	51.5	3.2	25.6	7.6	3.8	2.8	60.4	11.8	113.0	43.7	
	9	52.0	3.5	25.7	7.8	3.8	2.9	59.2	11.4	117.9	44.2	
	12	50.8	3.5	25.4	8.8	3.7	2.7	55.3	11.3	127.1	40.9	
	Média	50,4 ^a	3,3 ^a	25,1 ^a	7,9 ^b	3,8 ^a	2,9 ^a	57,9 ^a	11,8 ^a	117,9 ^b	43,2 ^b	
BRS 245RR (+Gly)	0	49.4	3.1	22.9	7.8	3.7	2.8	56.0	11.2	135.0	44.4	
	3	48.6	3.2	24.5	7.4	3.6	2.6	57.4	10.8	125.7	40.9	
	6	51.8	3.1	23.3	7.6	3.8	2.7	55.9	10.9	126.6	46.1	
	9	50.1	3.0	24.1	7.4	3.7	2.6	55.0	10.8	123.6	42.5	
	12	48.4	2.9	22.1	7.3	3.6	2.5	56.5	10.2	123.2	36.8	
	Média	50,0 ^a	3,1 ^a	23,4 ^a	7,5 ^b	3,7 ^a	2,6 ^a	56,2 ^a	10,8 ^a	126,8 ^a	42,1 ^b	
Teste F												
Cultivar* (a)		NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	*	*	
Dose (b)		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
a × b		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
CV (%)		24,1	19,7	21,1	18,7	17,6	14,9	20,8	22,5	26,3	18,7	

*significativo a 5% de probabilidade, ^{NS}não significativo. CV – coeficiente de variação. Médias seguidas por letra distintas entre a média das cultivares diferem entre so a 5% pelo teste de Tukey.

Fonte: Do próprio autor.

Tabela 11 - Teores dos nutrientes nos grãos da soja cultivada em Três Lagoas (MS).

Cultivares	Doses kg/ha	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹			
		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn
BRS 133	0	63.1	6.1	19.6	2.6	2.9	3.5	43.6	13.4	90.5	28.3
	3	63.0	6.6	19.8	2.5	3.0	3.6	38.2	13.1	96.6	34.7
	6	64.8	6.1	19.6	2.5	2.8	3.6	40.7	13.4	81.4	31.3
	9	65.6	6.2	19.7	2.5	2.9	3.6	39.0	14.0	83.0	36.6
	12	64.2	6.1	20.1	2.6	2.9	3.5	40.0	13.8	105.1	33.4
	Média	64,1 ^a	6,2 ^a	19,8 ^a	2,6 ^a	2,9 ^a	3,6 ^a	40,3 ^a	13,5 ^a	91,3 ^a	32,9 ^a
BRS 245RR (-Gly)	0	59.9	5.9	19.3	2.2	2.8	3.2	33.8	12.3	62.4	31.6
	3	60.6	5.9	19.6	2.2	2.8	3.1	34.1	11.3	65.4	30.3
	6	61.8	6.0	19.5	2.2	2.9	3.2	32.9	12.5	75.6	31.7
	9	62.8	5.6	19.5	2.2	2.9	3.2	33.2	11.9	77.4	31.4
	12	61.9	5.7	20.0	2.3	2.8	3.2	32.3	11.4	88.2	33.1
	Média	61,4 ^a	5,8 ^a	19,6 ^a	2,2 ^a	2,9 ^a	3,2 ^a	33,3 ^b	11,9 ^a	73,8 ^b	31,6 ^a
BRS 245RR (+Gly)	0	58.2	5.8	19.7	2.1	2.9	3.1	32.9	11.9	65.3	30.5
	3	62.8	6.0	19.7	2.2	2.9	3.3	34.2	12.3	69.6	32.6
	6	62.5	5.8	19.8	2.2	2.8	3.1	31.7	12.2	69.3	33.3
	9	59.1	5.6	19.6	2.3	2.8	3.1	33.7	11.4	66.8	31.7
	12	63.6	5.7	19.9	2.4	2.9	3.2	33.0	12.0	77.3	30.0
	Média	61,2 ^a	5,8 ^a	19,7 ^a	2,2 ^a	2,9 ^a	3,2 ^a	33,1 ^b	12,0 ^a	69,7 ^b	31,6 ^a
Teste F											
Cultivar* (a)		NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	*	NS
Dose (b)		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
a × b		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
CV (%)		24,8	23,1	17,9	13,1	14,0	18,6	24,9	21,6	17,5	18,3

*significativo a 5% de probabilidade, ^{NS} não significativo. CV – coeficiente de variação. Médias seguidas por letra distintas entre a média das cultivares diferem entre so a 5% pelo teste de Tukey.

Fonte: Do próprio autor.

Tabela 12 - Teores dos nutrientes nos grãos da soja cultivada em Ponta Grossa (PR).

Cultivares	Doses kg/ha	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹			
		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn
BRS 133	0	50.9	3.1	17.6	2.2	2.1	2.9	32.4	10.4	108.3	18.4
	3	54.8	4.1	18.4	1.9	2.2	3.1	32.9	12.2	83.2	17.9
	6	54.8	3.9	18.1	2.1	2.2	3.0	34.2	11.5	95.1	19.9
	9	54.4	3.6	18.4	2.1	2.2	3.0	32.8	11.4	91.4	17.6
	12	59.2	3.6	18.9	1.8	2.2	3.3	33.3	13.1	62.1	19.1
	Média	54,8 ^a	3,7 ^a	18,,3 ^a	2,0 ^a	2,2 ^a	3,1 ^a	33,1 ^a	11,7 ^a	88,0 ^a	18,6 ^a
BRS 245RR (-Gly)	0	59.9	4.2	18.9	1.6	2.2	3.3	31.5	13.1	63.6	18.0
	3	58.3	4.0	18.8	1.5	2.1	3.3	30.7	12.8	62.1	18.2
	6	59.0	4.0	18.4	1.6	2.3	3.2	29.5	13.3	62.7	18.3
	9	59.2	4.5	18.8	1.5	2.3	3.3	30.7	13.3	63.6	17.9
	12	60.1	4.5	18.7	1.7	2.3	3.3	31.3	12.9	64.7	17.8
	Média	59,3 ^a	4,2 ^a	18,7 ^a	1,6 ^a	2,2 ^a	3,3 ^a	30,7 ^a	13,1 ^a	63,3 ^b	18,0 ^a
BRS 245RR (+Gly)	0	57.8	3.8	18.7	1.9	2.3	3.3	33.4	12.9	74.2	18.6
	3	59.4	4.1	18.5	1.6	2.3	3.3	33.0	12.6	72.4	18.8
	6	57.8	4.4	18.7	1.7	2.3	3.3	33.0	12.6	68.1	18.5
	9	59.5	4.0	18.5	1.6	2.3	3.3	32.1	12.3	63.8	18.4
	12	62.0	4.2	18.6	1.6	2.3	3.3	33.8	12.6	65.1	17.9
	Média	59,3 ^a	4,1 ^a	18,6 ^a	1,7 ^a	2,3 ^a	3,3 ^a	33,1 ^a	12,6 ^a	68,7 ^b	18,4 ^a
Teste F											
Cultivar* (a)		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS
Dose (b)		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
a × b		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
CV (%)		23,1	25,2	18,9	14,6	17,4	19,4	22,6	22,5	31,1	17,6

*significativo a 5% de probabilidade, ^{NS} não significativo. CV – coeficiente de variação. Médias seguidas por letra distintas entre a média das cultivares diferem entre so a 5% pelo teste de Tukey.

Fonte: Do próprio autor.

Figura 10 - Deficiência de Zn nas folhas de soja cultivada em Três Lagoas (MS).
Dose 0 kg/ha de Zn.



Fonte: Do próprio autor.

6 CONCLUSÕES

6.1 EXPERIMENTO 1

A introdução do gene de resistência diminuiu os teores foliares de N, P, K, Ca, Mg, B, Mn e Zn nas folhas e nos grãos, taxa fotossintética (A), condutância estomática (C_s), clorofila e ureídeos (alantoína e ácido alantóico), havendo pouco influência do glifosato sobre essas variáveis. As doses de Zn aumentaram significativamente a produção de MSPA e de grãos e a maior produtividade estimada foi com aplicação de 17,5 e 16,8 mg kg⁻¹ respectivamente, o que equivale a 35±1 kg ha⁻¹ de Zn. Independentemente dos tratamentos, os teores foliares dos macronutrientes apresentaram a seguinte ordem: N>K>Ca>P>Mg>S, enquanto para os grãos foi N>K>P>S>Mg>Ca e para o micronutrientes nas folhas foi Mn>Zn>Fe>B>Cu e nos grãos Fe>Zn>Mn>B>Cu. Os teores foliares de Zn para a máxima produtividade estimada de grãos foi 126 mg kg⁻¹ ((BRS 133), 114,5 mg kg⁻¹ [BRS 245RR (-)Gly] e 29 mg kg⁻¹ [BRS 245RR (+Gly)]. Os extratores Mehlich 1 e DTPA-TEA apresentaram correlação significativa na extração de Zn do solo, indicando que ambos podem ser utilizados para prever a disponibilidade de Zn em Neossolo Quartzarênico cultivado com soja.

6.2 EXPERIMENTO 2

Nos dois locais, mesmo com maior coeficiente de correlação, os extratores Mehlich 1 e DTPA-TEA de caráter ácido e alcalino, respectivamente, foram eficientes na determinação do Zn disponível. As maiores produções estimadas obtidas com a aplicação de 12,7 kg/ha (BRS 133) e 5,9 kg/ha (BRS 245 RR (-gly) em Três Lagoas (MS) e 6,1 kg/ha e 4,2 kg/ha em Ponta Grossa (PR), respectivamente, enquanto no tratamento BRS 245RR (+gly), houve efeito linear não alcançando o ponto de intersecção da produtividade máxima com aplicação de 12 kg/ha. Exceto a dose 0 kg/ha de Zn (controle) no cultivo realizado em Três Lagoas (MS), os tratamentos não influenciaram os teores foliares ficando dentro dos níveis considerados adequados para soja. A introdução do gene de resistência ao glifosato alterou diminuiu a altura das plantas. Os atributos químicos do solo não foram influenciados pelos tratamentos.

REFERÊNCIAS

- ABREU, M. F.; ABREU, A. A.; ANDRADE, J. C. Determinação de boro em água quente, usando aquecimento com microonda. In: RAIJ, B. Van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. (Ed.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2001. p. 231-239.
- ABREU, M. F.; RAIJ, B. Efeito da reação do solo no zinco extraído pelas soluções DTPA e Mehlich 1. **Bragantia**, Campinas, v. 55, n. 2, p. 357-363, 1996.
- ANDRADE, G. J. M.; ROSOLEM, C. A. Uptake of manganese in RR soybean under glyphosate application. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 961-968, 2011.
- BALIGAR, V. C.; FAGERIA, N. K.; HE, Z. L. Nutrient use efficiency in plants. **Communications Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 32, n. 7, p. 921-950, 2001.
- BARRETT, K. A.; McBRIDE, M. B. Oxidative degradation of glyphosate and aminomethylphosphonate by manganese oxide. **Environmental Science & Technology**, Washington, v. 39, n. 39, p. 923-928, 2005.
- CAKMAK, I.; YAZICI, A.; TUTUS, Y.; OZTURK, L. Glyphosate reduced seed and leaf concentrations of calcium, manganese, magnesium, and iron in non-glyphosate resistant soybean. **European Journal of Agronomy**, Netherlands, v. 31, n. 3, p. 114-119, 2009.
- CASTRO, C.; OLIVEIRA, F. A. **Observações de viagem em área de cultivo de soja no Centro-Oeste**. Londrina: Embrapa Soja, 2008. (Relatório interno).
- CERDEIRA, A. L.; GAZZIERO, D. L. P.; DUKE, S. O.; MATIALLO, M. B.; SPADOTTO, C. A. Review of potential environmental impacts of transgenic glyphosate-resistant soybean in Brazil. **Journal of Environmental Science and Health**, New York, v. 42, p. 539-549, 2007.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, nono levantamento, julho 2013**. Brasília, 2013.
- COUPLAND, D. Metabolism of glyphosate in plants. In: GROSSARB, E.; ATKINSON, D. A. (Ed.). **The herbicide glyphosate**. London: Butterworths, 1985. p. 25-34.
- DALL'AGNOL, A.; ROESSING, A. C.; LAZZAROTTO, J. J.; HIRAKURI, M. H.; OLIVEIRA, A. B. **O complexo agroindustrial da soja brasileira**. Londrina: Embrapa: CNPSO, 2007. (Circular Técnica, 43).
- DAVIES, P. J. **Plant hormones; physiology, biochemistry, and molecular biology**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 1995.
- DELANNAY, X.; BAUMAN, T. W.; BEIGHLEY, D. H.; BUETTNER, M. J.; COBLE, H. D.; DEFELICE, M. S.; DERTING, C. W.; DIEDRICK, T. J.; GRIFFEN, J. L.;

HAGOOD, E. S.; HANCOCK, F. G.; HART, S. E.; LAVALLEE, B. J.; LOUX, M. M.; LUESCHEN, W. E.; MATSON, K. W.; MOOTS, C. K.; MURDOCK, E.; NICKELL, A. D.; OWEN, M. D. K.; PASCHALL II, E. H.; PROCHASKA, L. M.; RAYMOND, P. J.; REYNOLDS, D. B.; RHODES, D. B.; ROETH, F. W.; SPRANKLE, P. L.; TAROCHIONE, L. J.; TINIUS, C. N.; WALKER, R. H.; WAX, L. M.; WEIGELT, H. D.; PADGETTE, S. R. Yield evaluation of a glyphosatetolerant soybean line after treatment with glyphosate. **Crop Science**, Madison, v. 35, p. 1461-1467, 1995.

DVORANEN, E. C.; OLIVEIRA JUNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J.; CAVALIERI, S. D.; BLAINSKI, E. GR *Glycine max* nodulation and growth under Glyphosate, Fluazifop-p-butyl and Fomesafen application. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 26, p. 619-625, 2008.

ECODEBATE. **Área com soja transgênica deve chegar a 58% do total**. 2008. Disponível em: <www.ecodebate.com.br>. Acesso em: 16 mar. 2009.

EKER, S.; OZTURK, J.; YAZICI, A.; ERENOGLU, B.; ROMHELD, V.; CAKMAK, I. Foliar-applied glyphosate substantially reduced uptake and transport of iron and manganese in sunflower (*Helianthus annuus* L.) plants. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 54, n. 26, p. 1019-1025, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: CNPS/EMBRAPA, 1997.

_____. **Tecnologias de produção de soja**: Região Central do Brasil. Londrina: Embrapa Soja, 2008.

FAGERIA, N. K. **The use of nutrients in crop plants**. Boca Raton: CRC Press, 2009.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Ameliorating soil acidity of tropical Oxisols by liming for sustainable crop production. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 99, p. 345–399, 2008.

FAGERIA, N. K.; MOREIRA, A.; MORAES, L. A. C.; MORAES, M. F. Influence of lime and gpsum of yield and yield components of soybean and changes in soil chemical properties. **Communications Soil Science and Plant Analysis**, v.42, p.271–283, 2014.

FAGERIA, N. K.; SANTOS, A. B.; COBUCCI, T. Zinc nutrition of lowland rice. **Communications Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 42, n. 14, p. 1719-1727, 2011.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E.; BURMOOD, D. T.; PENNINGTON, J. S. Stage of development description for soybeans (*Glycine max* (L.) Merrill). **Crop Science**, Madison, v. 11, n. 6, p. 929-931, 1971.

FOLONI, L. L.; RODRIGUES, D.; FERREIRA, F.; MIRANDA, R.; ONO, E. O. Post-emergence application of glyphosate on transgenic soybean grown in the cerrado. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Brasília, n. 3, p. 47-58, 2005.

FRITSCHI, F.B.; RAY, J. D. Soybean leaf nitrogen, chlorophyll content, and chlorophyll a/b ratio. **Photosynthetica**, Prague, v. 45, n. 1, p. 92-98, 2007.

- FUNKE, T.; HAN, H.; HEALY-FRIED, M. L.; FISCHER, M.; SCHONBRUNN, E. Molecular basis for the herbicide resistance of roundup ready crops. **Proceedings of the National of Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 103, p. 1310-1315, 2006.
- GAZZIEIRO, D. L. P.; ADEGAS, F.; VOLI, E. **Glifosato e a soja transgênica**. Londrina: Embrapa Soja, 2008. (Circular Técnica, 60).
- GORDON, B. Manganese nutrition of glyphosate-resistant and conventional soybeans. **Better Crops**, Atlanta, v. 91, n. 4, p. 12-13, 2007.
- GRAHAM, R. D.; WEBB, M. J. Micronutrients and disease resistance and tolerance in plants. In: MORTWEDT, J. J.; COX, F. R.; SHUMAN, L. M.; WELCH, R. M. (Ed.). **Micronutrients in agriculture**. Madison: Soil Science Society of America, 1991. p. 329-370.
- HAVLIN, J.; BEATON, J. D.; TISDALE, S. L.; NELSON, W. L. **Soil fertility and fertilizers; an introduction nutrient management**. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1999.
- HIRAKURI, M. H. **Estimativa de custo de produção e lucratividade da soja, safra 2008/09, para o Paraná e Santa Catarina**. Londrina: Embrapa Soja, 2008. (Circular Técnica, 65).
- HUBER, D. M. What about glyphosate-induced manganese deficiency? **Fluid Journal**, Arizona, v. 1, p. 20-22, 2007.
- KING, C. A.; PURCELL, L. C. Inhibition of N₂ fixation in soybean is associated with elevated ureides and amino acids. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1088329/> - fn1 **Plant Physiology**, v. 137, p. 1389-1396, 2005.
- KING, C. A.; PURCELL, L. C.; VORIES, E. D. Plant growth and nitrogenase activity of glyphosate-tolerant soybean in response to foliar glyphosate applications. **Agronomy Journal**, Madison, v. 93, p. 179-186, 2001.
- LINDSAY, W. L.; NORVELL, W. A. Development of a DTPA test for zinc, iron, manganese and copper. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 42, p. 421-428, 1978.
- LONERAGAN, J. F.; GRUNES, D. L.; WELCH, R. M.; ADUAYI, E. A.; TENGAH, A.; LAZAR, V. A.; CARY, E. E. Phosphorus accumulation and toxicity in relation to zinc supply. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 46, n. 2, p. 345-352, 1982.
- LOUÉ, A. **Oligoéléments en agricultures**. Antibes: SCPA-NATHAN, 1993.
- MALAVOLTA, E. **ABC da análise de solos e folhas: amostragem, interpretação e sugestões de adubação**. São Paulo: Agrônoma Ceres, 1992. 124 p.
- MALAVOLTA, E. **Elemento da nutrição mineral de plantas**. Editora Ceres, São Paulo, Brazil. 1980. 280 p.

_____. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafós, 1997.

MARSCHNER, P. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. London: Elsevier, 2012.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1995.

MASCARENHAS, H. A. A.; TANAKA, R. T. Soja. In: RAIJ, B. VAN, CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas. p. 202–203. 1996.

MEHLICH, A. New extractant for soil test evaluation of phosphorus, potassium, magnesium, calcium, sodium, manganese and zinc. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 9, p. 477–492, 1978.

MENGEL, K.; KIRKBY, P. A. **Principles of plant nutrition**. Bern: International Potash Institute, 2001.

MOLDES, C. A.; MEDICI, L. O.; ABRAHÃO, O. S.; TSAI, S. M.; AZEVEDO, R. A. Biochemical responses of glyphosate resistant and susceptible soybean plants exposed to glyphosate. **Acta Physiologiae Plantarum**, Poland, v. 30, p. 469-479, 2008.

MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E.; HEINRICHS, R.; TANAKA, R. T. Magnesium influence on manganese and zinc uptake by excised roots of soybean. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, p. 95-101, 2003.

MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E.; MORAES, L. A. C.; HEINRICHS, R. Sources and rates of phosphorus on nitrogen and micronutrients levels in alfalfa and centrosema. **Boletim de Indústria Animal**, Nossa Odessa, v. 59, p. 157–165, 2002.

MURPHY, L. S.; ELLIS JÚNIOR, R.; ADRIANO, D. C. Phosphorus-micronutrient interaction effects on crop production. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Georgia, v. 3, n. 1, p. 593-613, 1981.

NANDULA, V. K.; REDDY, K. N.; RIMANDO, A. M.; DUKE, S. O.; POSTON, D. H. Glyphosate-resistant and susceptible soybean (*Glycine Max*) and canola (*Brassica napus*) doses response and metabolism relationships with glyphosate. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 55, p. 3540-3545, 2007.

OHKI, K. Zinc concentration in soybean as related to growth, photosynthesis, and carbonic anhydrase activity. **Crop Science**, Madison, v. 18, p. 79–82, 1978.

OLIVEIRA, S. C.; COSTA, M. C. G.; CHAGAS, R. C. S.; FENILLI, T. A. B.; HEINRICHS, R.; CABRAL, C. P.; MALAVOLTA, E. Resposta de duas cultivares de

arroz a doses de zinco aplicado como oxissulfato. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, p. 387-396, 2003.

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**. Piracicaba: FEALQ, 2002.

PRATA, F.; LAVORENTI, A. Retenção e mobilidade de defensivos agrícolas no solo. In: ALLEONI, L. R. F.; REGITANO, J. B. (Ed.). **Apostila do simpósio sobre dinâmica de defensivos agrícolas no solo**: aspectos práticos e ambientais. Piracicaba: ESALQ, 2002. p. 57-69.

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2001.

REDDY, K. N.; RIMANDO, A. M.; DUKE, S. O. Aminomethylphosphonic acid, a metabolite of glyphosate, causes injury in glyphosate – treated, glyphosate – resistant soybean. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 52, p. 5139-5143, 2004.

RITCHEY, K. D.; COX, F. R.; GALRÃO, E. Z.; YOST, R. S. Disponibilidade de zinco para as culturas do milho, sorgo e soja em latossolo vermelho-escuro argiloso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 21, p. 215-225, 1986.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas**. Londrina: Edição dos Autores, 1998.

RÖMHELD, V. Dinâmica do glifosato na rizosfera das plantas-alvo e não alvo. **Informações Agrônômicas**, Piracicaba, n. 119, p. 3-5, 2007.

ROSOLEM, C. A.; ANDRADE, G. J. M.; LISBOA, I. P.; ZOCCA, S. M. Manganese uptake and redistribution in soybean as affected by glyphosate. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 1915-1922, 2010.

SANTOS, J. B.; FERREIRA, E. A.; REIS, M. R.; SILVA, A. A.; FIALHO, C. M. T.; FREITAS, M. A. M. Avaliação de formulações de glyphosate sobre soja Roundup Ready. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, p.165-171, 2007.

SERRA, A. P.; MARCHETTI, M. E.; CANDIDO, A. C. S.; DIAS, A. C. R.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Glyphosate influence on nitrogen, manganese, iron, copper and zinc nutritional efficiency in glyphosate resistant soybean. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.41, p.77–84, 2011.

TPS. **Tecnologias de produção de soja**: região central do Brasil. Londrina: Embrapa Soja, 2013.

VOGELS, G.D.; VAN DER DRIFT C. Differential analysis of glyoxylate derivatives. **Analytical Biochemistry**, New York, v. 33, n. 1, p. 143-157, 1970.

YAMADA, T.; CASTRO, P. R. C. C. Efeitos do glifosato na plantas: implicações fisiológicas e agrônômicas. **Informações Agrônômicas** (Brasil), Norcross, GA, n. 119, p. 1-32, 2007.

ZABLOTOWICZ, R. M.; REDDY, K. N. Nitrogenase activity, nitrogen content, and yield responses to glyphosate in glyphosate-resistant soybean. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 26, p. 370-376, 2007.

ZILLI, J. E.; SMIDERLE, O. J.; NEVES, M. C. P.; RUMJANEK, N. G. Microbial population in soil cultivated with soybean and treated with different herbicides in cerrado area of Roraima. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 37, p. 201-212, 2007.

ZOBIOLE, L. H. S.; OLIVEIRA JUNIOR, R. S.; HUBER, D. M.; CONSTANTIN, J.; CASTRO, C.; OLIVEIRA, F. A.; OLIVEIRA JÚNIOR, A. Glyphosate reduces shoot concentrations of mineral nutrients in glyphosate-resistant soybeans. **Plant Soil**, v. 328. p. 57-69, 2010.

ZOBIOLE, L. H. S.; OLIVEIRA JUNIOR, R. S.; TORMENA, C.; CONSTANTIN, J.; CAVALIERI, S. D.; ALONSO, D. G.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. Efeito da compactação do solo e do sulfentrazone sobre a cultura da soja em duas condições de água no solo. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, p. 537-545, 2007.

ZOBIOLE, L. H.; KREMER, R. J.; OLIVEIRA JUNIOR, R. S.; COSNTANTIN, J. Glyphosate effects on photosynthesis, nutrient accumulation, and nodulation in glyphosate-resistant soybean. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Tharandt, v. 175, n. 2, p. 319–330, 2012.