

**LUIZ HENRIQUE SAES ZOBIOLE**

**Efeito da compactação do solo na atividade do herbicida sulfentrazone na  
cultura da soja [*Glycine max* (L.) Merrill]**

**MARINGÁ  
PARANÁ – BRASIL  
DEZEMBRO – 2004**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**LUIZ HENRIQUE SAES ZOBIOLE**

**EFEITO DA COMPACTAÇÃO DO SOLO NA ATIVIDADE DO HERBICIDA  
SULFENTRAZONE NA CULTURA DA SOJA [*Glycine max* (L.) Merrill]**

Dissertação apresentada à  
Universidade Estadual de  
Maringá, como parte  
das exigências do Programa de  
Pós-Graduação em Agronomia, área  
de concentração em Proteção de  
Plantas, para obtenção do título de  
Mestre.

**MARINGÁ  
PARANÁ – BRASIL  
DEZEMBRO – 2004**

LUIZ HENRIQUE SAES ZOBIOLE

**EFEITO DA COMPACTAÇÃO DO SOLO NA ATIVIDADE DO HERBICIDA  
SULFENTRAZONE NA CULTURA DA SOJA [*Glycine max* (L.) Merrill]**

Dissertação apresentada à  
Universidade Estadual de  
Maringá, como parte  
das exigências do Programa de  
Pós-Graduação em Agronomia, área  
de concentração em Proteção de  
Plantas, para obtenção do título de  
Mestre.

APROVADA em 17 de dezembro de 2004.

---

Prof. Dr. Alexandre Brighenti

---

Prof. Dr. Cesar de Castro

---

Prof. Dr. Jamil Constantin

---

Prof. Dr. Rubem Silvério de Oliveira Júnior

Aos meus pais, Luiz Antônio Zobiole e Neusa Saes Zobiole, que sempre me apoiaram em toda a minha vida nos momentos mais difíceis; à minha noiva, Andréia Anisele Augusto, pela paciência, amor, compreensão e, principalmente, pela motivação que me tem dado para alcançar mais este objetivo,

dedico.

“Nada, senão nós mesmos, nos pode trazer paz.”  
(Dale Carnegie)

## **AGRADECIMENTOS**

A DEUS por me iluminar e me conduzir até esse momento, proporcionando-me força e sabedoria para enfrentar todas as dificuldades que a mim são confiadas.

A meus pais, pelo apoio, tanto financeiro quanto afetivo, durante todos esses anos.

À minha noiva Andréia, pela sua compreensão, amor e companheirismo dedicados a mim.

Ao meu padrinho e minha madrinha pela ajuda que se dispuseram a me oferecer durante esse período.

Ao professor Dr. Rubem Silvério de Oliveira Jr., pela sua orientação, companheirismo e ensinamentos profissionais e de vida repassados a mim.

Aos professores Dr. Jamil Constantin e Dr. Cássio A. Tormena, pelo apoio, integridade e compreensão.

Aos pesquisadores da EMBRAPA – Soja que me deram incentivo à realização do curso de mestrado e aos ensinamentos e apoio transmitidos a mim durante o mesmo.

Aos amigos de mestrado que me ajudaram não somente nos estudos, mas também nas horas mais difíceis.

A equipe de trabalho e ao pessoal da graduação que me ajudaram na instalação e condução dos experimentos.

A CAPES pela ajuda de custo financeiro através da bolsa de estudos fornecida.

## **BIOGRAFIA**

LUIZ HENRIQUE SAES ZOBIOLE, filho de Luiz Antônio Zobiole e Neusa Saes Zobiole, nasceu em Curitiba, Paraná, aos dezesseis dias do mês de junho de 1979.

Diplomou-se em Engenharia Agrônômica, em 14 de novembro de 2002, pela Universidade Estadual de Londrina.

Durante a graduação estagiou no Instituto Agronômico do Paraná na área de entomologia e EMBRAPA Soja na área de nutrição mineral e adubação de plantas.

Em março de 2003, iniciou o curso de Mestrado em Agronomia, área de concentração em Proteção de Plantas, na Universidade Estadual de Maringá.

Atualmente, exerce as atividades profissionais junto à empresa Nitral Urbana.



## ÍNDICE

|                                           |             |
|-------------------------------------------|-------------|
| <b>RESUMO.....</b>                        | <b>vii</b>  |
| <b>ABSTRACT.....</b>                      | <b>viii</b> |
| <b>1. INTRODUÇÃO.....</b>                 | <b>1</b>    |
| <b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>      | <b>3</b>    |
| <b>3. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>         | <b>17</b>   |
| <b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>     | <b>21</b>   |
| 4.1. Massa seca da parte aérea.....       | 21          |
| 4.2. Massa seca da raiz.....              | 23          |
| 4.3. Área foliar.....                     | 26          |
| 4.4. Número de nódulos.....               | 30          |
| 4.5. Massa seca dos nódulos.....          | 34          |
| 4.6. Acúmulo de nitrogênio.....           | 37          |
| 4.7. Taxa fotossintética.....             | 41          |
| <b>5. CONCLUSÕES.....</b>                 | <b>43</b>   |
| <b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b> | <b>44</b>   |

## RESUMO

ZOBIOLE, Luiz Henrique Saes, M.S., Universidade Estadual de Maringá, dezembro de 2004. **Efeito da compactação do solo na atividade do herbicida sulfentrazone na cultura da soja [*Glycine max* (L.) Merrill].** Professor Orientador: Dr. Rubem Silvério de Oliveira Jr. Professores Conselheiros: Dr. Jamil Constantin e Dr. Cássio A. Tormena.

No presente experimento, realizado em casa-de-vegetação, estudou-se o efeito da compactação do solo na atividade do herbicida sulfentrazone, aplicado em pré-emergência na cultura da soja [*Glycine max* (L.) Merrill] cv. BRS-133. O solo utilizado foi um Latossolo Vermelho nitossólico, coletado da camada superficial (0-0,20 m). As unidades experimentais foram constituídas por colunas de PVC com altura de 0,25 m e diâmetro interno de 0,145 m, nas quais foram colocadas massas de solo suficientes para atingir o nível de compactação desejado, adotando-se um nível de umidade de 30%. O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4 x 2 x 2, correspondendo a quatro níveis de compactação do solo (1,0, 1,2, 1,4 e 1,5 g cm<sup>-3</sup>), presença ou ausência do herbicida e duas frações de poros preenchidos com água (80% e 70% da porosidade total), com quatro repetições. A massa seca da parte aérea, massa seca da raiz, área foliar, número de nódulos, massa seca de nódulos e acúmulo de nitrogênio nas plantas foram maiores na maior fração de poros com água (80%) e nas menores densidades do solo, devido à melhor taxa de infiltração de água e difusão de oxigênio no solo. A partir da densidade de 1,17 g cm<sup>-3</sup>, houve inibição acentuada da taxa fotossintética, indicando que a partir desse nível a fotossíntese foi severamente inibida. O sulfentrazone reduziu a área foliar, formação de nódulos, massa seca dos nódulos e o acúmulo de nitrogênio na parte aérea. Esses efeitos foram mais acentuados com o aumento da densidade do solo.

Palavras-chave: inibidores da PROTOX, aril triazolinona, manejo do solo.

## ABSTRACT

ZOBIOLE, Luiz Henrique Saes, M.S., Universidade Estadual de Maringá, December, 2004. **Effect of soil compaction on activity of sulfentrazone herbicide in soybean [*Glycine max* (L.) Merrill]**. Adviser: Dr. Rubem Silvério de Oliveira Jr. Committee Members: Dr. Jamil Constantin and Dr. Cássio A. Tormena.

In the present experiment, accomplished under greenhouse conditions, the effect of soil compaction on activity of sulfentrazone in soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] cv. BRS-133 was evaluated. A clay soil was collected from a superficial (0-0.20 m) layer. Experimental unities were PVC columns 0.25 m high and with 0.145 m of internal diameter, in which enough soil mass was placed to achieve the desired compaction level, adopting a moisture level of 30%. The experimental design was completely randomized, in a 4 x 2 x 2 factorial scheme, corresponding to four compaction levels (1.0, 1.2, 1.4 and 1.5 g cm<sup>-3</sup>), presence or absence of herbicide and two soil moistures (80% and 70% of total porosity), with four replicates. Shoot and root dry mass accumulation, foliar area, number of nodules, nodule dry matter and nitrogen accumulation increased in higher soil moisture (80% of total porosity) and in lower compaction levels, because of better water infiltration rate and oxygen diffusion into the soil. In soil densities above 1.17 g cm<sup>-3</sup>, there was a strong inhibition of soybean photosynthetic rate, suggesting that from this level on photosynthesis was severely inhibited. Sulfentrazone reduced foliar area, nodule development, nodule dry matter and shoot nitrogen accumulation. Such effects are more pronounced with the increase of soil compaction.

Key-words: PROTOX inhibitors, aril triazolinones, soil management.

## 1. INTRODUÇÃO

A erosão do solo e a perda de nutrientes e pesticidas associados ao preparo convencional, têm induzido os agricultores a adotarem formas de conservação e redução do preparo do solo. O plantio direto é uma técnica eficiente no controle das perdas de solo e água, razão pela qual, juntamente com outras vantagens que o sistema oferece, tem sido adotado por um número cada vez maior de agricultores. O plantio direto é a forma extrema de conservação do solo, na qual o solo é deixado sem distúrbio desde a colheita até o próximo plantio, e as plantas daninhas são controladas por meio de herbicidas. Apesar dos efeitos benéficos do plantio direto, após alguns anos de adoção, os solos sob este manejo apresentam, geralmente, maiores valores de densidade e menores valores de macroporosidade e porosidade total nas camadas superficiais, quando comparados a solos sob preparo convencional. Esta compactação caracteriza-se, portanto, pelo aumento da densidade do solo e redução da sua porosidade total. Não somente o plantio direto leva à compactação do solo, mas também os sistemas convencionais de manejo do solo promovem a desagregação excessiva da camada arável, o encrostamento superficial e a formação de camadas coesas ou compactas, denominadas pé-de-grade ou pé-de-arado.

O efeito mais pronunciado da compactação do solo é a redução do crescimento das raízes. Entretanto, o efeito da compactação do solo na biomassa da raiz depende do grau de compactação, teor de água no solo e das propriedades físicas desse solo. Um dos elementos mais importantes do balanço de água no solo é a infiltração superficial, a qual é afetada por uma série de propriedades como a densidade aparente, a porosidade, e a distribuição do tamanho dos poros.

Com a compactação do solo, podem ocorrer mudanças na dinâmica de pesticidas no solo. Um dos possíveis efeitos é o aumento da persistência dos herbicidas, muitas vezes ocasionando toxicidade para as culturas subsequentes à que se utilizou o herbicida. Também pode aumentar a fitotoxicidade do herbicida para a própria cultura, em função da restrição na percolação no solo

e conseqüente aumento da concentração disponível para absorção radicular pela cultura.

Quando se fala em sorção e degradação dos herbicidas, estes podem ser afetados pela redução do número de poros provenientes de sua compactação, mais especificamente pela redução dos macro e mesoporos, que são responsáveis pela lixiviação e percolação de solutos do solo. Com esta redução dos poros de maior tamanho, ocorre conseqüentemente a redução da porosidade do solo, propiciando um aumento do tempo de permanência dos herbicidas e da sua sorção, retardando assim a degradação, o que resulta na diminuição da sua mobilidade.

Os herbicidas aplicados em pré-emergência, para sua atuação devem, necessariamente fazer parte da solução do solo, pois este é o veículo para que estas substâncias cheguem às estruturas das plantas pelas quais serão absorvidas. Devido à compactação do solo, ocorre uma limitação do volume de solo para ser explorado pelo sistema radicular, podendo resultar numa maior predisposição das raízes em se desenvolverem nas camadas superficiais com maiores concentrações de herbicidas.

Sendo assim, o solo normalmente é o destino final dos produtos químicos usados na agricultura, sejam eles aplicados diretamente no solo ou nas plantas. No entanto, ainda pouco se conhece a respeito dos processos envolvidos na interação dos pesticidas com aspectos físicos do solo, necessitando-se de mais estudos sobre o efeito destes aspectos na dinâmica destas moléculas e de seus resíduos.

O objetivo deste trabalho é avaliar o efeito da compactação do solo e da disponibilidade de água na atividade do herbicida sulfentrazone na cultura da soja.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

Em sistemas agrícolas, o solo representa o destino final dos herbicidas aplicados diretamente a ele ou à parte aérea das plantas. No solo, os herbicidas podem sofrer adsorção, lixiviação e degradação, através de processos físicos, químicos e biológicos, além da absorção pelas plantas daninhas ou cultivadas. A compreensão de tais processos é fundamental para a previsão do comportamento dos herbicidas nos mais variados tipos de solo, pois todos esses processos apresentam-se amplamente dependentes das características físicas do tipo de solo considerado e também das condições climáticas locais (Velini, 1992). Portanto, para maior sucesso na utilização dos herbicidas, tanto em relação ao aspecto de eficiência sobre as plantas quanto ao aspecto ambiental, é primordial conhecer e entender os processos que regulam seus comportamento e destino no ambiente, especialmente sua retenção nos diferentes solos (Oliveira Jr. & Constantin, 2001).

Os herbicidas inibidores da protoporfirinogênio oxidase (PROTOX) têm sido investigados por mais de 30 anos. Durante o período de 1970-1980, um grande número de trabalhos foi feito com estes herbicidas, embora pouco se soubesse a respeito de seu modo de ação. Mais tarde, durante a década de 1980, pesquisadores da FMC Corporation descobriram dois novos princípios ativos pertencentes ao grupo químico aril triazolinona (sulfentrazone e carfentrazone-ethyl). Estes dois herbicidas foram muito comercializados na década de 90 (Theodoridis et al., 2001).

O herbicida sulfentrazone, registrado inicialmente para o controle de plantas daninhas na cultura da soja, também é muito utilizado na cultura da cana-de-açúcar para o controle de tiririca (Rodrigues & Almeida, 1998; Alves et al., 2004). Seu mecanismo de ação é a inibição da protoporfirinogênio oxidase, uma enzima presente na biossíntese da clorofila (Matringre et al., 1989; Duke et al., 1991; Lee et al., 1993; FMC Corporation, 1995; Dayan et al., 1997; Wehtje et al., 1997; Reddy & Locke, 1998; Theodoridis et al., 2001; Oliveira Jr. & Constantin, 2001).

Sulfentrazone aplicado ao solo, é absorvido pelas raízes e translocado pelo xilema até o ponto de ação onde, na presença de luz solar, inibe a enzima

protoporfirinogênio oxidase, que atua na biossíntese da clorofila, resultando na formação de oxigênio livre, o qual, por sua vez, vai causar a peroxidação de lipídios da membrana celular e conseqüentemente, a ruptura da mesma, ocorrendo assim a morte das plantas susceptíveis. Seu modo de ação é similar aos herbicidas do grupo difenil éteres (Duke et al., 1991; Dayan et al., 1997; FMC, 1997; Wehtje et al., 1997).

O uso do sulfentrazone é uma alternativa a outros grupos químicos de herbicidas tradicionalmente utilizados na cultura da soja, tais como imidazolinonas, sulfoniluréias, triazolopirimidinas e sulfonanilidas (Krausz et al., 1998; Lawder, 2002). O uso contínuo de herbicidas dessas classes químicas, nos últimos anos, tem levado ao aumento da pressão de seleção de biótipos resistentes de plantas daninhas (Christoffoleti et al., 2004). A excelente performance do sulfentrazone no controle de plantas daninhas, que já foram descritos casos de resistência no Brasil, como leiteiro (*Euphorbia heterophylla*) e capim-marmelada (*Brachiaria plantaginea*), faz dele uma excelente opção para programas de manejo de resistência de plantas daninhas.

O sulfentrazone pode ser utilizado em pré-plantio incorporado ou em pré-emergência para o controle de diversas dicotiledôneas e gramíneas (Reddy & Locke, 1998), na dose de 0,6 kg ha<sup>-1</sup>, (Rodrigues & Almeida, 1998). Segundo Dirks et al. (2000), deve ser aplicado preferencialmente logo após a semeadura da cultura, pois a utilização imediata, antes ou durante a fase de emergência das plantas de soja, aumenta o risco de injúria, quando comparado com aplicações mais precoces, provavelmente devido à maior concentração do herbicida na zona de germinação das sementes (Hulting et al., 2001). Nos Estados Unidos, o sulfentrazone é utilizado também em pós-emergência ou em pré-plantio incorporado (Dayan et al., 1996; Vidrine et al., 1996; EPA, 1997).

O produto comercial é formulado como uma suspensão concentrada, contendo 500 gramas de sulfentrazone por litro. Sua massa molecular é 387,2, densidade 1,66 g cm<sup>-3</sup> e ponto de fusão 116,8 a 119,1° C (Rodrigues & Almeida, 1998; FMC, 2000).

O Sulfentrazone apresenta pressão de vapor da ordem de 1 x 10<sup>-9</sup> mm Hg a 25° C, sendo praticamente não volátil. Sua solubilidade em água é de 490 mg L<sup>-1</sup>, considerada elevada e dispensando a incorporação mecânica, mesmo quando aplicado no período seco, além deste não ficar retido na cobertura

morta (FMC, 2000). Segundo Reddy & Locke (1998), citado por FMC Corporation (1995), a solubilidade do sulfentrazone muda de acordo com o pH do meio, possuindo 110, 780 e 1600 mg L<sup>-1</sup> para pH 6,0; 7,0 e 7,5, respectivamente.

A meia vida do sulfentrazone no solo é, em média, de 180 dias, e a principal forma de degradação é a decomposição microbiana; apresenta mobilidade moderada ( $R_f = 0,60$ ), porém, em condições normais de precipitação, a movimentação vertical ou lateral é pequena (FMC, 2000).

Segundo Inoue et al. (2003), um dos critérios usados para avaliar o risco potencial de lixiviação dos herbicidas é o índice GUS. O índice GUS (índice de vulnerabilidade de águas subterrâneas), proposto por Gustafson (1989), é calculado a partir dos valores de meia vida do composto no solo ( $t_{1/2}$ ) e do coeficiente de sorção, normalizado para o teor de carbono orgânico ( $K_{oc}$ ), não levando em consideração outras propriedades, como solubilidade em água. Este índice é empírico e classifica os compostos de acordo com sua tendência de lixiviação. Herbicidas com  $GUS < 1,8$  são considerados não lixiviantes, ao passo que os de índices superiores a 2,8 representam produtos lixiviantes, que segundo o mesmo autor, o sulfentrazone é um pesticida lixiviante. Aqueles com valores entre 1,8 e 2,8 são considerados intermediários. Spadotto (2002), estudando métodos para avaliar o potencial de lixiviação de pesticidas, encontrou para o sulfentrazone  $K_{oc} = 10$ , que gerou um índice  $GUS = 6,90$ , considerado o pesticida como lixiviante.

Na solução do solo com pH menor que 6,5, o sulfentrazone existe predominantemente na forma não-iônica (Reddy & Locke, 1998). É considerado iônico e um ácido fraco do ponto de vista de ionização do solo, com  $pK_a$  de 6,56, e neutro em pH com valores menores que 6,56 e aniônico em pH acima deste valor, com ambas formas presentes na solução do solo entre pH 6 e 7 (EPA, 1997; Grey et al., 1997; Reddy & Locke, 1998; Grey et al., 2000). Sulfentrazone é o único entre todos herbicidas aplicados ao solo, cujo  $pK_a$  de 6,56 é encontrado dentro da faixa de valores de pH do solo (6 a 7,5) em locais onde se cultiva a cultura da soja (Alves et al., 2004).

Argila e matéria orgânica são os componentes mais significantes em respeito à adsorção de herbicidas, quando as moléculas são cátions ou contém componentes catiônicos. A adsorção de moléculas aniônicas pelo solo é



altamente dependente de componentes do solo que influenciam no pH; primeiramente, a argila caulinita e minerais como gibisita, goetita e hematita, pois estes minerais possuem hidróxidos e oxihidróxidos de ferro ou alumínio, que são adsorvidos em pH menores que o ponto de carga zero destes minerais. Teoricamente, formas aniônicas e neutras estarão presentes em mesmas quantidades quando o pH for igual ao pKa (Grey et al., 1997). Estes mesmos autores estudaram a adsorção do sulfentrazone e a sua mobilidade em relação ao pH do solo, e constataram que a adsorção do sulfentrazone foi fortemente influenciada pelo pH do solo, indicando a dependência da sorção em relação ao pH, pois em valores de pH maiores que seu pKa, ocorre a diminuição da adsorção e um aumento da concentração do herbicida na solução do solo.

Rossi et al. (2003) avaliaram a mobilidade e atividade do sulfentrazone em duas classes de solos (Nitossolo Vermelho e Neosso Quartzarênico), em função de índices pluviométricos crescentes. Esse seu trabalho, um dos fatores que influenciou o comportamento do herbicida foi a saturação do solo, visto que, quanto maior foi o índice pluviométrico, maior a intensidade da injúria nas plantas, principalmente quando se comparou o efeito de 90 mm de precipitação com os de 30 e 60 mm. Para o nitossolo vermelho (pH 5,4 e teor de óxido de ferro de 21,9%), à medida que o índice pluviométrico aumentava, ocorria uma maior disponibilização do sulfentrazone na camada superficial de 2,5 e 7,5 cm, a qual, segundo os autores, deve-se a uma possível dessorção do produto do solo, pela saturação deste, provavelmente em decorrência dos elevados teores de óxidos. Para o neossolo quartzarênico (pH de 4,3 e teor de óxido de ferro de 1,10%), a ação superficial do herbicida foi mais intensa, porém com percolação acentuada, praticamente até a última profundidade estudada. Estes autores concluíram que a mobilidade do sulfentrazone tem comportamento diferenciado entre as classes de solos estudados, sendo pouco móvel em solos com maior conteúdo de óxido de ferro e móvel em solos com baixo teor de óxidos de ferro, além de que a atividade do sulfentrazone aumenta com o teor de umidade do solo. Swantek et al. (1998), avaliando injúrias do herbicida sulfentrazone em cultivares tolerantes, também relata que em solos onde ocorreram uma maior precipitação, houve sérias injúrias devido a maior umidade do solo.

Alves et al. (2004) avaliaram a eficiência do sulfentrazone no controle de tiririca (*Cyperus rotundus* L.) em solos com diferentes características químicas e observaram que o conteúdo de argila (240 a 640 g kg<sup>-1</sup>) e teor de matéria orgânica (12 a 78 g kg<sup>-1</sup>) do solo não influenciaram no controle da planta daninha. No entanto, o conteúdo de óxidos de Fe influenciou fortemente o comportamento e a eficiência do sulfentrazone ocorrendo uma diminuição do controle da planta daninha com o aumento do conteúdo de óxidos de Fe no solo pois a contribuição dos óxidos de Fe e Al e hidróxidos é importante, por causa da superfície das cargas dependentes de pH. Nestes locais, a adsorção é um resultado da união entre minerais e grupamentos ácidos da molécula a baixos valores de pH (abaixo dos valores do pKa do herbicida).

No plantio direto, a eficiência dos herbicidas aplicados em pré-emergência depende de sua capacidade de lixiviar da palhada até o solo, além das características físico-químicas das moléculas dos herbicidas, da precipitação pluviométrica após a aplicação, do tipo de manejo do solo e da quantidade e tipo de palhada. Rodrigues et al. (1999) não observaram influência da cobertura morta na retenção do sulfentrazone, mesmo em tratamentos com 12 t/ha<sup>-1</sup> de aveia preta rolada, demonstrando a grande utilidade do produto para o plantio direto. Reddy & Locke (1998) demonstraram que a adsorção do sulfentrazone foi afetada pelo tipo de solo e pelas práticas de cultivo. O aumento da adsorção do sulfentrazone no plantio direto comparado com o plantio convencional é atribuído ao alto teor de carbono orgânico. Em condições de sistema de preparo reduzido, ocorre a tendência de aumentar o resíduo das plantas, o qual prolonga o tempo de resíduo do sulfentrazone no solo. Durigan et al. (2004), estudando o controle químico de *Cyperus rotundus*, com e sem cobertura do solo pela palhada de cana-de-açúcar, também observaram que alguns herbicidas como o sulfentrazone tiveram desempenho afetado pela presença da palha; contudo, foram os únicos a manterem controles superiores a 80%, até 90 dias, quando na ausência de palha.

O acúmulo de resíduos deve aumentar a sorção e prolongar o tempo de resíduo do herbicida na superfície do solo. O aumento da sorção pode reduzir a percolação, além de resultar em um controle inadequado das plantas

daninhas por causa da diminuição do herbicida disponível na solução do solo (Reddy & Locke, 1998).

Rodrigues et al. (1999), em estudo sobre a influência da cobertura morta no comportamento do herbicida sulfentrazone, observaram que o produto, registrado e recomendado para a cultura da soja, por ser relativamente solúvel (490 ppm conforme Rodrigues & Almeida, 1998), foi lixiviado para camadas mais profundas do solo. Na avaliação da lâmina de água de 20 mm, não foi detectado o produto após 24 horas, independente da quantidade de palha, pelas análises cromatográficas de solo realizadas de 0 a 5 cm e 5 a 10 cm, constatando a elevada solubilidade do produto.

A disponibilidade do sulfentrazone, além de depender da sua concentração, é afetada pelo pH e pelas condições físicas do solo. Grey et al. (1997) relatam que a sorção do sulfentrazone diminui com o aumento do pH do solo, e a proporção de sulfentrazone que permanece na solução do solo eleva-se com o aumento do pH. Doohan & Figueroa (2004), trabalhando com fatores ambientais que afetam a seletividade do sulfentrazone em morangos, observou a redução na tolerância da cultura onde o sulfentrazone foi aplicado no solo com pH 7,0 em comparação ao crescimento dos morangos em pH 5,0.

Segundo Wehtje et al. (1997), em um estudo sobre o efeito do sulfentrazone no controle de *Cyperus rotundus* e *Cyperus esculentus* sob diferentes pH do solo, a fitotoxicidade do sulfentrazone é favorecida pelo aumento do pH do solo, pois a forma aniônica deve ser a predominantemente absorvida pela raiz de *C. rotundus* e *C. esculentus*, e menos sujeito a adsorção dos colóides, pois os ânions são geralmente menos adsorvidos ao solo do que as formas neutras. No entanto, ainda não há indicações claras de que a forma aniônica tenha maior atividade herbicida do que a forma neutra.

Muitos fatores podem contribuir para a ocorrência de injúrias na cultura da soja por herbicidas aplicados ao solo, incluindo a compactação (Hulting et al., 2001). Embora ocorra variação na tolerância intraespecífica entre os diversos cultivares de soja, a resposta de cada um deles ao sulfentrazone pode ser modulada pelas condições edafoclimáticas do meio em que as plantas estão sendo cultivadas com o herbicida (Lawder, 2002). Assim, solos úmidos (Swantek et al., 1998; Vangessel et al., 2000; Hulting et al., 2001; Niekamp & Johnson, 2001), compactados (Hulting et al., 2001), arenosos (Grey et al.,

1997;), com pouca matéria orgânica (Grey et al., 1997; FMC, 2001), ou com pH elevado (Grey et al., 1997 e Wehtje et al., 1997) aumentam a disponibilidade do herbicida no solo para ser absorvido pela planta.

Dayan et al. (1997), observaram que existe tolerância diferencial entre cultivares de soja ao uso do sulfentrazone, além de que sua degradação metabólica soja é um fator chave para a tolerância deste herbicida. A redução do hipocótilo e comprimento de raiz durante a emergência de plantas de soja têm sido um parâmetro indicativo para classificar cultivares sensíveis ao sulfentrazone (Zhaohu et al., 1999).

Arruda et al. (1999) verificaram injúrias para as raízes das plantas de soja tratadas com sulfentrazone, com decréscimo no comprimento das raízes e aumento na relação da parte aérea/raiz. Dayan & Weete, (1996), também observaram em um estudo sobre diferenças de sensibilidade em relação às plantas daninhas-*Senna obtusifolia* e *Senna occidentalis*-sob aplicação de sulfentrazone e concluíram que houve um retardamento no desenvolvimento da raiz de *Senna occidentalis*.

A fitointoxicação por sulfentrazone demonstra sintomas como clorose (Swantek et al., 1998; Rodrigues et al., 1999; Li et al., 1999; Taylor-Lovell et al., 2001; Lawder, 2002), redução do comprimento do caule (Swantek et al., 1998; Li et al., 1999; Roman et al., 2000; Taylor-Lovell et al., 2001; Hulting et al., 2001;) e redução do estande (Swantek et al., 1998, Taylor-Lovell et al., 2001; Lawder, 2002). Além destes sintomas, são citados, ainda, redução da área foliar (Swantek et al., 1998); descoloração das nervuras (Taylor-Lovell et al., 2001; Lawder, 2002); engrossamento do caule; manchas ou necrose do tecido foliar e dos cotilédones (Li et al., 1999, Hulting et al., 2001); endurecimento do arco do hipocótilo e dos cotilédones e, em casos extremos, aborto dos cotilédones (Dirks et al., 2000; Hulting et al., 2001); redução do comprimento dos entrenós (Dirks et al., 2000; Hulting et al., 2001) e enrolamento das folhas (Taylor-Lovell et al., 2001). Arruda et al. (2001) avaliaram o efeito de doses de sulfentrazone sobre a nodulação e fixação do nitrogênio na cultura da soja e observaram que a concentração de ureídeos na seiva do xilema decresceu significativamente em razão do incremento de doses do herbicida, além da diminuição do número de nódulos e de sua matéria seca, concluindo que o

sulfentrazone reduz tanto a formação de nódulos quanto a fixação do  $N_2$ , e esses efeitos são acentuados com o aumento da dose do herbicida.

Outros fatores também ocasionam o crescimento deficiente do sistema radicular de plantas cultivadas, dentre os quais: danos causados por insetos, deficiências nutricionais, acidez do solo, temperatura inadequada, baixa taxa de oxigênio, drenagem insuficiente e aumento da densidade do solo. Dentre essas limitações, o aumento da densidade do solo toma, muitas vezes, dimensões sérias, pois, ao causar restrições ao crescimento e ao desenvolvimento radiculares, acarreta uma série de problemas que afetam direta e indiretamente a produção das plantas; conseqüentemente, outros atributos físicos do solo são modificados, afetando também atributos químicos e biológicos (Ribeiro, 1999).

A compactação do solo é a compressão do solo não saturado, provocando uma reorganização estrutural das partículas e de seus agregados, resultando em aumento da densidade do solo com redução na macroporosidade e conseqüentemente na porosidade total (Stone et al., 2002). Para Tubeileh et al. (2003), a compactação é a mudança na estrutura do solo, que diminuiu a sua porosidade e aumenta a resistência à penetração. Isto resulta em uma restrição ao crescimento de raiz, a qual afeta o crescimento da planta e a produção de biomassa. O efeito mais pronunciado da compactação do solo é a redução do crescimento das raízes. Entretanto, o efeito da compactação do solo na biomassa da raiz depende do grau de compactação, teor de água no solo e das propriedades físicas desse solo. Segundo Ribeiro (1999), a estrutura de um solo se expressa pelo arranjo espacial das partículas sólidas e dos poros e é extremamente importante para o crescimento de raízes, em virtude de controlar, diretamente, a dinâmica da água, a aeração e a resistência do solo à penetração de raízes.

O problema de adensamento do solo vem aparecendo sistematicamente na região do Cerrado, onde os sistemas convencionais de manejo do solo promovem a desagregação excessiva da camada arável, o encrostamento superficial e a formação de camadas coesas ou compactas, denominadas pé-de-grade ou pé-de-arado. Como alternativa, os agricultores vêm adotando o sistema de plantio direto (SPD). Baseado na ausência de movimentação do solo e manutenção de resíduos orgânicos na superfície do solo, o SPD altera a

dinâmica da matéria orgânica e da atividade biológica, modificando, principalmente, os processos intrínsecos do solo, provocando alterações na sua estrutura e na dinâmica físico-hídrica. Em várias situações, porém, têm sido relatadas ocorrências de aumento da densidade do solo e diminuição da macroporosidade com o uso do SPD, pois, com a compactação, ocorrem reduções significativas, principalmente no volume de macroporos, enquanto os microporos permanecem praticamente inalterados. Isto afeta a infiltração de água no solo, que está relacionada diretamente com os macroporos, os quais são também importantes para o crescimento de raízes e para o movimento de solutos (Stone et al., 2002).

A implantação e o crescimento do sistema de plantio direto no Brasil foram lentos inicialmente, por causa de problemas técnicos como defensivos, acidez do solo e a implantação sem adequação da área, principalmente no que se refere à compactação do solo. Além disso, com o passar dos anos, o tráfego de máquinas sobre o solo, principalmente quando este encontra-se úmido, pode causar a compactação e redução da produtividade, com destaque para os solos argilosos (Ribeiro, 1999; Beutler, 2003).

A intensa mecanização tem provocado alterações na estrutura do solo, proporcionando condições desfavoráveis ao crescimento das plantas, decorrentes da formação de camadas compactadas. A compactação do solo, à medida que reduz os macroporos e aumenta os microporos, favorece ainda o aumento no volume de água retida a maiores tensões, propiciando a criação de ambiente redutor, com reflexo nos mecanismos de fluxo de massa e difusão, importantes no suprimento de nutrientes às raízes das plantas (Ribeiro, 1999). Quanto menores os poros, mais fortemente a água estará retida e, conseqüentemente, maior deverá ser a energia para retirá-la, além de que a habilidade das plantas em explorar água e nutrientes contidos em um horizonte do solo depende grandemente da concentração de raízes nesse horizonte que, por sua vez, depende de suas condições físicas e químicas. A estrutura porosa do solo determina o armazenamento e o conteúdo de água disponível para as plantas (Canalli & Roloff, 1997). Beutler (2003) avaliou a altura e a matéria seca da parte aérea e das raízes de soja em diversos níveis de resistência à penetração e do conteúdo de água no solo e concluiu que a altura das plantas

foi superior no maior conteúdo de água, condizente com sua maior disponibilidade.

O plantio direto é uma técnica eficiente no controle das perdas de solo e água, razão por que, juntamente com outras vantagens que o sistema oferece, tem sido adotado por um número cada vez maior de agricultores. No entanto, apesar das inúmeras vantagens, alguns fatores têm causado frustrações com a adoção dessa tecnologia, motivando o retorno ao sistema convencional de preparo do solo. Dentre estes, destaca-se a excessiva compactação do solo em superfície, decorrente da ausência de revolvimento do solo e da ocorrência sistemática do tráfego de máquinas e implementos (Tormena et al., 1998).

A compactação do solo constitui um tema de crescente importância em face do aumento da mecanização nas atividades agrícolas, que acarreta alteração no arranjo das partículas do solo, tornando-os mais densos. Os principais efeitos negativos da compactação do solo são o aumento da resistência mecânica, redução da aeração e da disponibilidade de água e nutrientes, e, conseqüentemente, decréscimo da produtividade (Goedert et al., 2002). Letey et al. (1966), observaram que a taxa de difusão de oxigênio em solos compactados é menor quando comparado com os não compactados, influenciando, por sua vez, o crescimento de raiz, o qual é maior em solos não compactados em relação a solos compactados. Queiroz-Voltan et al. (2000), estudaram os aspectos da estrutura da raiz e o desenvolvimento de plantas de soja em solos compactados e concluíram que o aumento da compactação proporcionou a diminuição tanto da massa seca da parte aérea, como da raiz e também de sua área foliar, pois como relatamos a compactação diminui os espaços livres do solo e, conseqüentemente, diminui a quantidade de oxigênio disponível na rizosfera, podendo ser limitante ao desempenho dos processos metabólitos das plantas.

A avaliação das propriedades físicas sob diferentes sistemas de preparo do solo é importante para caracterizar o ambiente físico para o crescimento radicular. Tormena et al. (2002), em um estudo sobre as propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distroférico, cultivado com mandioca, após dois anos de implantação de diferentes sistemas de preparo do solo, observaram que, no sistema de plantio direto (SPD), os valores da densidade do solo da camada de 0,10 – 0,20 m foram maiores que no sistema de preparo mínimo

(SPM) e preparo convencional (SPC), o que se deve, segundo os autores, ao efeito acumulativo do tráfego de máquinas e da ausência de mobilização mecânica do solo. No SPM, os valores de densidade do solo são intermediários entre SPC e SPD, sendo associados ao revolvimento parcial do solo pelo equipamento de escarificação. A estrutura do solo, após a aplicação dos implementos de preparo, é fortemente dependente do tipo de implemento utilizado, das condições climáticas e da umidade do solo. Além disso, o SPM e SPC promoveram aumentos na porosidade do solo, quando comparados ao SPD, pois devido à utilização do arado e de escarificadores, aos tratamentos SPM e SPC, proporcionaram maiores valores de macroporosidade. O plantio direto, além de reduzir a porosidade total, muda drasticamente a distribuição do tamanho dos poros, com redução dos poros de maior tamanho. Em relação à microporosidade, os autores observaram um aumento no SPD comparado com SPC, o que se deve ao aumento da densidade do solo no SPD. As implicações desses resultados, são de que o solo sob preparo convencional poderia drenar mais rapidamente do que aquele com menor intensidade de mobilização e influenciar temporalmente a disponibilidade de água às plantas. Da mesma forma, Pereira et al. (2002) avaliaram a resistência do solo à penetração (em função do sistema de cultivo) e teor de água no solo e concluíram que o uso de máquinas agrícolas em solo argiloso com alto teor de água pode conduzir a um aumento da compactação do solo, pois o plantio direto propiciou um maior adensamento do solo se comparado com o sistema de cultivo mínimo.

Nos Latossolos Vermelhos do Norte do Paraná, as amplitudes de variação da densidade global para os solos argilosos (60 a 75%) vão desde  $1,00 \text{ g cm}^{-3}$ , sob condições naturais e ricos em matéria orgânica até  $1,45 \text{ g cm}^{-3}$ , nos solos mal manejados e compactados (Torres & Saraiva, 1999). Nogueira & Manfredini (1983), em levantamentos preliminares, observaram a presença de camadas compactadas em alguns solos de textura argilosa, sendo constatado que a densidade da camada compactada, em Latossolo Vermelho, variava entre  $1,20$  e  $1,45 \text{ g cm}^{-3}$ . Estes autores observam que quebras sensíveis na produção da cultura da soja têm sido atribuídas à presença desta camada compactada. O sistema radicular da soja, considerado difuso ou francamente pivotante, é constituído por uma raiz principal e um grande número de raízes secundárias que, em condições normais de cultivo,



distribuem-se quase que totalmente na camada superficial (70 a 80% do peso da matéria seca nos primeiros 15 cm de solo, devido, principalmente ao engrossamento da raiz pivotante e à maior concentração de nódulos) (Queiroz-Voltan et al, 2000). Nogueira & Manfredini (1983), trabalhando nesta mesma linha de pesquisa, estudaram a fisiologia do crescimento da soja, em função da variação da densidade global na camada compactada, em um solo argiloso, semelhante àqueles utilizados na região produtora de soja no Estado de São Paulo, onde tem ocorrido o problema de compactação mecânica. A conclusão deste trabalho foi que o peso da matéria seca de raízes diminuiu com o aumento da compactação do solo, além de que a impedância mecânica aumentou exponencialmente com a redução do teor de água. Assim, já a densidade  $1,22 \text{ g cm}^{-3}$  poderá se tornar restritiva à penetração de raízes neste tipo de solo, para potenciais de água inferiores à capacidade de campo. A presença de uma camada compactada, pelo fato de ter induzido aumento na densidade de raízes na camada superficial do solo, significa que a cultura da soja poderá tornar-se mais susceptível a deficiências hídricas em períodos de seca, podendo esta ser a explicação para as reduções de até 50% na produtividade, em anos de baixa pluviosidade, nas áreas onde se tem constatado a presença destas camadas. A compactação poderá ser responsável pela diminuição na produção, apenas em condições de deficiência hídrica. Em condições de umidade suficiente no solo, a planta desenvolve meios de contornar o problema pela variação no sistema radicular, pois a presença da camada compactada em si não é um fator restritivo à cultura da soja.

Ribeiro (1999) avaliou os efeitos da densidade do solo e de doses de fósforo no crescimento da soja e do eucalipto, cultivados em amostras de dois latossolos de diferentes texturas, e observou que o aumento da densidade dos solos promoveu efeito depressivo no crescimento das espécies e, proporcionalmente, foi mais pronunciado no eucalipto, principalmente no nível de densidade  $1,30 \text{ g cm}^{-3}$  no Latossolo Vermelho-Escuro e  $1,70 \text{ g cm}^{-3}$  no Latossolo Vermelho-Amarelo. Além da diminuição do crescimento, a compactação dos solos reduziu a magnitude de resposta das espécies às doses de fósforo. De maneira geral, o aumento da densidade,

proporcionalmente, reduziu mais a massa seca de raízes do que da parte aérea da soja em ambos os solos.

Em solos compactados, ocorrem mudanças e redução no comprimento do sistema radicular, restringindo a absorção de água e nutrientes. No entanto, não necessariamente, ocorre redução do crescimento da parte aérea, pois, muitas vezes, o sistema radicular é reduzido e mantém satisfatoriamente o suprimento de água e nutrientes para a parte aérea. Por outro lado, solos muito porosos podem não afetar o crescimento radicular, porém o menor contato das raízes com o solo pode diminuir a absorção de água e nutrientes. Neste sentido, estudos mostram que, muitas vezes, uma pequena compactação é benéfica por aumentar a área de contato das raízes com o solo (Sidiras & Vieira, 1984). Estes autores afirmam que uma pequena compactação pode proporcionar melhor retenção de água, temperatura mais uniforme na camada de semeadura e melhores condições de absorção de nutrientes por unidade de comprimento de raiz.

Um dos elementos mais importantes do balanço de água no solo é a infiltração superficial, que depende de uma série de propriedades do solo como a densidade aparente, a porosidade e a distribuição do tamanho dos poros. Estas propriedades dependem por sua vez da existência ou não de agregados e de sua estabilidade no solo (Medeiros et al., 1996). Morgan et al. (1966) avaliaram o tempo de infiltração da água em um solo compactado comparado com um solo não compactado e observaram que o tempo de infiltração de água nos tratamentos com os primeiros foram maiores que os últimos, devido ao aumento da quantidade de microporos do solo e conseqüente diminuição da sua macroporosidade. Tormena et al. (1998) estudaram os fatores que interferem na compactação e nas modificações em algumas propriedades físicas do solo e concluíram que o sistema de plantio direto leva ao adensamento do solo com diminuição da porosidade total, aumento do volume de microporos e diminuição da porosidade de aeração.

Canalli & Roloff (1997) caracterizaram a condição hídrica do solo para a cultura do milho e da soja, nos primeiros anos de adoção do sistema de plantio direto, em um latossolo vermelho-escuro, em função dos métodos de preparo e da correção do solo, nas profundidades de amostragem (0-20, 20-40, 40-60 e 60-80 cm). E concluíram que, comparando a capacidade de água prontamente

disponível nas camadas em profundidade, tanto para o milho quanto para a soja, ela foi menor na camada de 0-20 cm quando comparada à de 20-40 cm. Isso evidencia que a compactação superficial, provocada pelo sistema de plantio direto, afetou negativamente a condição hídrica do solo na camada de 0-20 cm, além de que o armazenamento real foi maior na camada superficial, devido à imediata recarga de água nesta camada, através da precipitação e à maior proporção de microporos responsáveis pelo armazenamento de água no solo.

O crescimento e a produtividade da cultura da soja é função da compactação do solo e do conteúdo de água, sendo que a excessiva compactação do solo reduz o crescimento radicular, seguido da parte aérea e da produção de grãos (Beutler, 2003). Este mesmo autor relata que a produtividade de soja decresceu a partir da densidade do solo de  $1,48 \text{ Mg m}^{-3}$ , em um Latossolo Vermelho. Stone et al. (2002), estudando a compactação do solo na cultura do feijoeiro, observaram que densidades acima de  $1,40 \text{ Mg m}^{-3}$  levam à diminuição do crescimento radicular. Para Tubeileh et al. (2003), densidades acima de  $1,40 \text{ Mg m}^{-3}$  já seriam suficientes para prejudicar o desenvolvimento radicular do milho, ou seja, valores de densidades acima de  $1,40 \text{ Mg m}^{-3}$  são considerados prejudiciais ao crescimento e desenvolvimento das plantas.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa-de-vegetação da Universidade Estadual de Maringá (UEM), Maringá, PR, durante o período de 20 de agosto a 13 de outubro de 2004.

O solo utilizado foi coletado no Centro Tecnológico de Irrigação (CTI), pertencente à Universidade Estadual de Maringá (UEM), no município de Maringá, região noroeste do Estado do Paraná, Brasil, classificado como Latossolo Vermelho nitossólico. O município localiza-se entre 23° 25' de latitude sul e 51° 57' de longitude a oeste de Greenwich, com altitude média de 540 m.

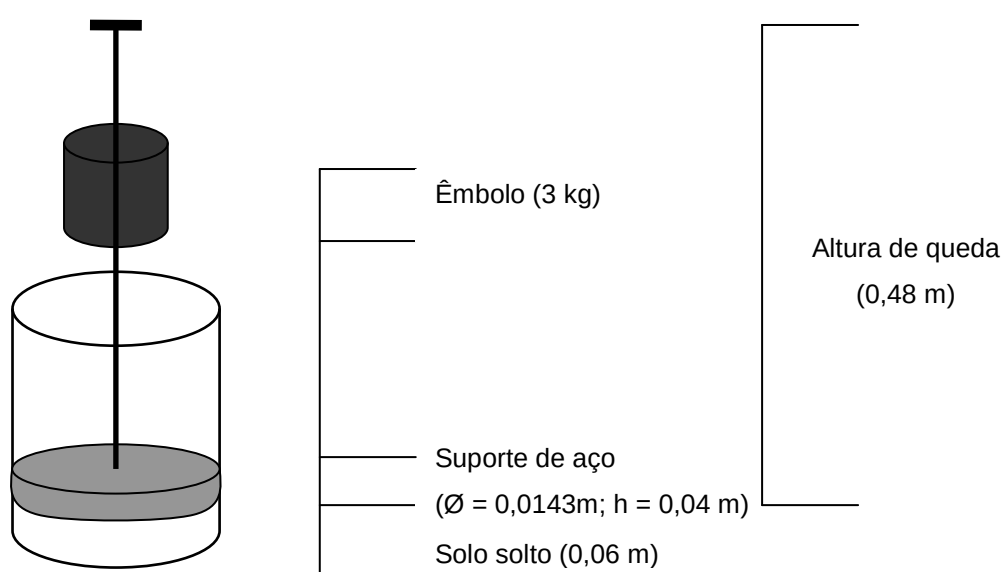
As amostras dos solos foram coletadas na camada de 0,0-0,20 m e passadas em peneira de 0,004 m. Este solo foi ensacado e deixado em repouso por 48 horas. Após este período, foram retiradas amostras para o cálculo da umidade do solo, por meio do método do anel volumétrico. O solo foi umedecido até 30% de sua massa seca, procedendo-se à homogeneização do volume de água adicionado ao solo em sacos de plástico. O solo foi deixado em repouso, novamente por 24 horas, antes da operação de compactação.

Os resultados das análises química e granulométrica fornecidas pelo Laboratório de Solos da Universidade Estadual de Maringá encontram-se no Quadro 1.

Quadro 1. Análise química e granulométrica de amostras de solo, na camada 0,0-0,20 m, do Centro Tecnológico de Irrigação (CTI) da Universidade Estadual de Maringá, Maringá-PR, 2004.

| pH                |                  | C                  | P                   | Al <sup>+++</sup>                             | H <sup>+</sup> +Al <sup>+++</sup> | Ca <sup>++</sup> +Mg <sup>++</sup> | Ca <sup>++</sup> | K <sup>+</sup> |
|-------------------|------------------|--------------------|---------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|------------------|----------------|
| CaCl <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> O | g dm <sup>-3</sup> | mg dm <sup>-3</sup> | .....cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ..... |                                   |                                    |                  |                |
| 5,2               | 6,1              | 15,07              | 9,0                 | 0,0                                           | 4,61                              | 8,60                               | 5,23             | 0,33           |
| AREIA GROSSA      |                  | AREIA FINA         |                     | SILTE                                         |                                   | ARGILA                             |                  |                |
| .....             |                  | .....              |                     | .....g kg <sup>-1</sup> .....                 |                                   | .....                              |                  |                |
| 100               |                  | 80                 |                     | 110                                           |                                   | 710                                |                  |                |

As unidades experimentais foram constituídas por colunas cilíndricas de PVC com altura de 0,25 m e diâmetro interno de 0,145 m, nos quais o solo foi disposto em camadas de aproximadamente 0,06 m de espessura. O procedimento para a compactação foi adaptado daquele descrito por Mueller et al. (2001), que consiste em compactação de sucessivas camadas de solo no interior do anel, utilizando diferentes níveis de energia aplicada, para atingir a densidade do solo desejada. Cada camada foi compactada em decorrência da queda livre de um êmbolo de 3 kg, da altura de 0,48 m, no centro geométrico de um suporte de aço com diâmetro ligeiramente inferior ao vaso (Figura 1).



**Figura 1.** Representação esquemática do equipamento utilizado para compactação do solo nas colunas de PVC.

O solo foi compactado até a altura de 0,20 m das colunas e os restantes 0,05 m foram preenchidos por uma camada de solo com densidade  $1,0\text{ g cm}^{-3}$ , considerado não compactado, mais a adição de 50 g de palha, simulando o sistema de plantio direto. Os níveis de compactação corresponderam a 2, 6, 14 e 55 impactos por camada de solo, pressão esta exercida pela queda do êmbolo para as densidades de 1,0, 1,2, 1,4 e  $1,5\text{ g cm}^{-3}$ .

Os tratamentos foram combinados em um esquema fatorial ( $4 \times 2 \times 2$ ), inteiramente casualizado, sendo os fatores: quatro níveis de compactação (1,0, 1,2, 1,4 e  $1,5\text{ g cm}^{-3}$ ), duas frações de poros do solo preenchidas com água (80 e 70% da porosidade total), com e sem herbicida, com quatro repetições. A

fração volumétrica total dos poros do solo (PT), comumente chamada porosidade total, foi obtida através da fórmula proposta por Prevedello (1996):

$$PT = 1 - D_s / D_p$$

$D_s$  = densidade do solo

$D_p$  = densidade de partículas

Para o solo utilizado neste estudo a densidade de partículas era de  $2,93 \text{ g cm}^{-3}$ .

Após a compactação, foram colocadas seis sementes de soja (*Glycine max*) por coluna na profundidade de 2 cm. A cultivar utilizada foi a BRS 133, estando inclusa no grupo de maturação semiprecoce, com ciclo de 132 dias (Embrapa-CNPSo, 2000) e tolerante ao herbicida sulfentrazone (Lawder, 2002). Imediatamente, antes da semeadura, que ocorreu no dia 20/08/2004, as sementes foram tratadas com uma mistura de Carboxin  $200 \text{ g L}^{-1}$  e Thiram  $200 \text{ g L}^{-1}$  (suspensão concentrada de fungicida sistêmico e de contato para tratamento de sementes) e inoculadas com inoculante comercial Nital Urbana, com cultura de *Bradyrhizobium elkanii*, estirpes Semia 587 e Semia 5019, contendo  $1 \times 10^9$  bactérias  $\text{mL}^{-1}$ , seguindo as recomendações de dosagens do fabricante. Após a semeadura, o herbicida sulfentrazone foi aplicado, em pré-emergência da cultura, na dose de  $1,2 \text{ L ha}^{-1}$ , com a barra posicionada a 0,50 m de altura em relação ao nível da extremidade superior da coluna, utilizando equipamento costal com bicos leque SF110.02, sob pressão constante de  $\text{CO}_2$  de  $2 \text{ kgf cm}^{-2}$  e volume de calda de  $200 \text{ L ha}^{-1}$ . A umidade relativa no horário da aplicação era de 92% e a temperatura  $22^\circ \text{ C}$ , com total ausência de vento, estando o solo em condições ideais de umidade para a aplicação. Decorridos 7 dias da emergência, realizou-se o desbaste, deixando-se três plantas de soja por coluna.

No dia da instalação do experimento, foram aplicados os conteúdos de água, visto que foi necessário aumentar o conteúdo de água no solo das colunas com  $1,5 \text{ g cm}^{-3}$ , para possibilitar a germinação na coluna compactada. O conteúdo de água foi mantido constante tanto para 70 como 80% do volume total de poros, mediante uma pesagem a cada dois dias das colunas e adição de água para repor a água evapotranspirada.

Aos 50 dias após emergência, foram feitas análises da taxa de fotossíntese líquida, utilizando o equipamento Li-Cor 6400, Lincoln, NE. EUA

(Portable Photosynthesis System) operados pela equipe da Embrapa Soja. As avaliações foram feitas entre 12:00 e 17:00, escolhendo-se a planta com o estágio vegetativo mais representativo da coluna, fazendo-se as medidas na parte mediana das folhas ou folíolos, completamente expandidos, presentes no terço superior das plantas. Aos 51 dias, procedeu-se à colheita das plantas, separando a parte aérea da raiz e a contagem do número de nódulos. A parte aérea, bem como as raízes e os nódulos, após lavagem com água corrente, foram secas em estufa com circulação forçada de ar a 65 – 70 °C até peso constante, quando foram tomados os pesos da matéria seca por pesagem em balança de precisão.

Antes da secagem da parte aérea, foi medida a área foliar das plantas por meio de um medidor eletrônico específico (Delta T. Devices), na Embrapa Soja, procedendo-se em seguida análises do teor de nitrogênio no Laboratório de Análise de Solo e Tecido Vegetal – LASTV.

Realizaram-se análises de variância para a massa seca da parte aérea, massa seca das raízes, área foliar, número de nódulos, massa seca dos nódulos e taxa fotossintética das plantas, mediante o uso do programa SAEG. Equações de regressão foram ajustadas para todas essas variáveis, e testes de média foram aplicados quando necessário.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Massa seca da parte aérea

Dentre os fatores analisados para esta variável, houve interação significativa apenas entre os níveis de compactação do solo e a fração de poros com água (Fpa).

A única densidade na qual houve efeito significativo da Fpa sobre o acúmulo de massa seca da parte aérea foi a de  $1,4 \text{ g cm}^{-3}$  (Quadro 2). Nesta densidade, houve maior produção de massa seca a 70%, quando comparado a 80% de Fpa. Além da presença da camada compactada, sob maiores densidades do solo, ocorre o problema de encharcamento, propiciando um ambiente redutor, o qual afeta o acúmulo de massa seca da parte aérea. Segundo Beutler (2003), a redução da matéria seca da parte aérea pode interferir diretamente na produtividade de grãos de soja, indicando que a produção de massa seca da parte aérea é um indicativo importante para avaliar possíveis efeitos na produtividade da cultura.

Quadro 2. Massa seca da parte aérea ( $\text{g planta}^{-1}$ ) de plantas de soja, cv. BRS-133, em função da densidade do solo e da fração de poros com água.

| Fração de poros<br>com água | Densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ ) |         |         |         |
|-----------------------------|------------------------------------------|---------|---------|---------|
|                             | 1,0                                      | 1,2     | 1,4     | 1,5     |
| Fpa 70%                     | 2,75 Aa                                  | 3,02 Aa | 1,91 Ab | 0,76 Ac |
| Fpa 80%                     | 2,88 Ab                                  | 3,27 Aa | 1,63 Bc | 0,56 Ad |

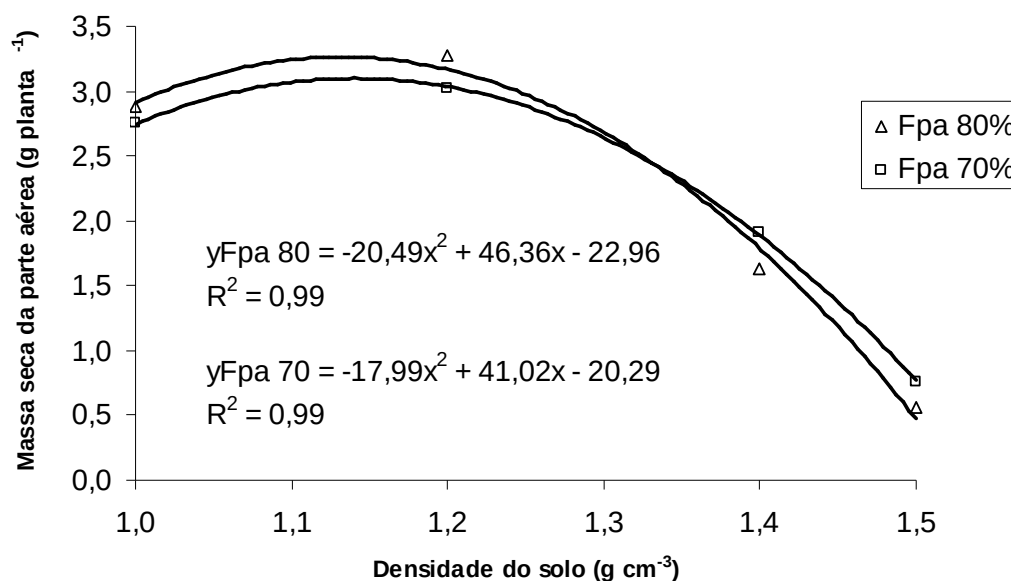
Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Procópio et al. (2004) estudaram as características fisiológicas da cultura da soja (cultivar UFV-19) e observaram que, aos 39 dias após emergência, as plantas possuíam em média  $2,185 \text{ g}$  de matéria seca, o que se assemelha aos dados do Quadro 3, pois, nas densidades de  $1,0$  e  $1,2 \text{ g cm}^{-3}$ , consideradas densidades propícias ao cultivo do soja, as plantas de soja produziram, aos 50



dias, uma média de 2,75 g a 3,02 g para Fpa 70% e 2,88 a 3,27 g para uma Fpa 80%.

Ao observar o efeito da densidade do solo no acúmulo de massa seca de parte aérea (Figura 2), é possível identificar que, para ambas as Fpa, houve um pequeno incremento inicial no acúmulo de biomassa das plantas de soja, seguido de um efeito negativo para densidades mais altas.



**Figura 2.** Massa seca da parte aérea de plantas de soja, cv. BRS-133, em função da densidade do solo para duas frações de poros com água (70 e 80% da porosidade total).

Este fato pode estar relacionado à predominância de macroporos nas menores densidades, os quais possuem pouca eficiência no armazenamento de água e nutrientes. Os pontos de máximo das curvas ajustadas ocorreram nas densidades de 1,13 (Fpa<sub>80%</sub>) e 1,14 g cm<sup>-3</sup> (Fpa<sub>70%</sub>), indicando que o aumento de densidade do solo a partir destes níveis, passou a afetar o acúmulo de matéria seca na parte aérea. Segundo Queiroz-Voltan et al. (2000), que estudaram os aspectos do desenvolvimento de plantas de soja em solos compactados, a matéria seca da parte aérea diminuiu com o aumento da densidade do solo entre os níveis de compactação (0,95 – 1,5 g cm<sup>-3</sup>), e, na densidade de 1,2 g cm<sup>-3</sup>, ocorreu uma maior produção. Segundo os autores, um moderado adensamento do solo pode ser benéfico às plantas. Sidiras & Vieira (1984) também demonstraram que uma pequena compactação do solo

propicia uma melhor retenção de água, além de melhorar as condições para a absorção de nutrientes, resultando em uma maior produção de biomassa e conseqüentemente, maior produtividade. Solos excessivamente porosos apresentam menores produções por causa de seu menor contato com as raízes, diminuindo a habilidade do sistema radicular em absorver quantidades adequadas de água e nutrientes (Beutler, 2003).

Além do efeito da fração de poros preenchidos com água na redução da massa seca da parte aérea, houve ainda um efeito mais marcante do aumento da densidade do solo nessa variável. Para a Fpa<sub>80%</sub>, em valores absolutos, ocorreu uma redução de 2,70 g na massa seca da parte aérea das plantas de soja, considerando-se a variação do ponto de máximo ( $d=1,13 \text{ g cm}^{-3}$ ; massa seca =  $3,26 \text{ g planta}^{-1}$ ) até a maior densidade estudada ( $d=1,50 \text{ g cm}^{-3}$ ; massa seca =  $0,56 \text{ g planta}^{-1}$ ), o que equivale a 83% de redução. Na Fpa<sub>70%</sub>, em valores absolutos, ocorreu uma redução de 2,34 g na massa seca da parte aérea das plantas de soja, considerando-se a variação do ponto de máximo ( $d=1,14 \text{ g cm}^{-3}$ ; massa seca =  $3,10 \text{ g planta}^{-1}$ ) até a maior densidade estudada ( $d=1,50 \text{ g cm}^{-3}$ ; massa seca =  $0,76 \text{ g planta}^{-1}$ ), equivalendo a 75% de redução.

#### 4.2. Massa seca da raiz

Houve interação significativa apenas entre os níveis de compactação do solo e a fração de poros com água.

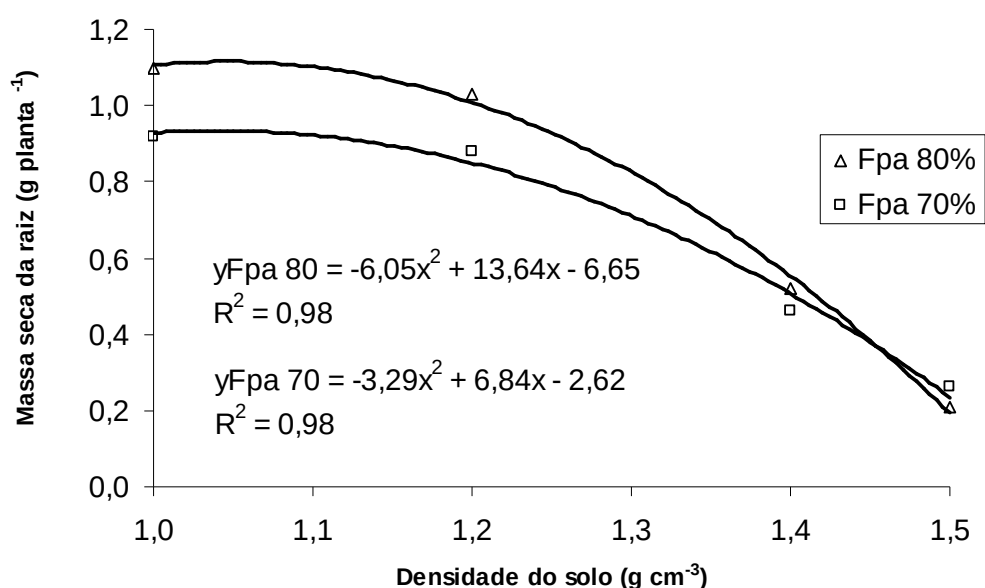
A massa seca da raiz foi afetada significativamente pela Fpa na densidade de  $1,0 \text{ g cm}^{-3}$ . Na menor disponibilidade de água (Fpa<sub>70%</sub>), a massa seca da raiz foi de 0,92 g enquanto na Fpa<sub>80%</sub> foi de 1,10g (Quadro 3).

Quadro 3. Massa seca da raiz ( $\text{g planta}^{-1}$ ) de plantas de soja, cv. BRS-133, em função da densidade do solo e da fração de poros com água.

| Fração de poros<br>Com água | Densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ ) |         |         |         |
|-----------------------------|------------------------------------------|---------|---------|---------|
|                             | 1,0                                      | 1,2     | 1,4     | 1,5     |
| Fpa <sub>70%</sub>          | 0,92 Ba                                  | 0,88 Aa | 0,46 Ab | 0,26 Ab |
| Fpa <sub>80%</sub>          | 1,10 Aa                                  | 1,03 Aa | 0,52 Ab | 0,21 Ac |

Médias seguidas pela mesma letra em maiúsculo na coluna e, minúsculo na linha, não apresentam diferenças estatísticas significativas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

A Figura 3 evidencia que, com o aumento da densidade do solo, ocorre a diminuição da massa seca da raiz, a partir das densidades de 1,13 (Fpa<sub>80%</sub>) e 1,04 (Fpa<sub>70%</sub>), indicando que o aumento de densidade do solo a partir destes níveis passou a afetar o acúmulo de massa seca das raízes, concordando com os estudos de Queiroz-Voltan et al. (2000) que também observaram redução da massa seca da raiz com o aumento da densidade do solo.



**Figura 3.** Massa seca da raiz de plantas de soja, cv. BRS-133, em função da densidade do solo para duas frações de poros com água (70 e 80% da porosidade total).

Ribeiro (1999) verificou que a compactação do solo, à medida que reduz os macroporos e aumenta os microporos, favorece ainda o aumento no volume de água retido nas maiores tensões, propiciando a criação de ambiente redutor, com reflexo nos mecanismos de fluxo de massa e difusão, importantes no suprimento de nutrientes às raízes das plantas.

O impedimento mecânico causado pela compactação decresce a taxa de alongação celular devido à redução da divisão celular meristemática e do crescimento radicular, além de provocar engrossamento das raízes devido aos danos causados no córtex, provocado pelo aumento de células por unidade de comprimento de raízes (Torres & Saraiva, 1999).

Letey et al. (1966) observaram ainda que a taxa de difusão de oxigênio em solos compactados é menor comparada a solos não compactados,

influenciando, por sua vez, o crescimento de raiz, o qual é maior em solos não compactados em relação a solos compactados. Este comportamento é observado na figura 3 em que a compactação reduziu o crescimento de raiz em ambos os níveis de Fpa. A massa seca de raízes diminui com o aumento da compactação do solo, além de que a impedância mecânica aumenta exponencialmente com a redução do teor de água no solo (Nogueira & Manfredini, 1983).

O efeito negativo da compactação do solo sobre o desenvolvimento radicular está associado ao potencial de água no solo, sendo que, quanto mais negativo for o potencial de água no solo, menor será o crescimento radicular relativo (Torres & Saraiva, 1999). Como pode ser observado na Figura 3, há uma tendência de maior crescimento radicular na maior fração de poros com água (Fpa<sub>80%</sub>). Tal fato pode ser observado nas menores densidades, ficando evidente que a 70% de Fpa a massa seca de raízes foi mais afetada do que a 80%. À medida que a densidade do solo aumenta, a diferença de comportamento entre as duas Fpa's tende a reduzir-se, pois a intensidade de compactação do solo se sobrepõe ao efeito de Fpa, com conseqüente diminuição da infiltração da água no solo e a difusão de oxigênio.

O efeito da fração de poros com água sobre a massa seca da raiz foi semelhante ao efeito observado para a massa seca da parte aérea, demonstrando que em uma maior fração de poros preenchidos com água, ocorre uma maior produção tanto da massa seca da parte aérea quanto da raiz em menores densidades do solo. Entretanto o efeito mais pronunciado observado em ambas variáveis foi o da densidade do solo, pois existe uma diminuição acentuada da massa seca com o aumento da densidade do solo. Esta diminuição é mais acentuada no menor conteúdo de água do solo (Fpa<sub>70%</sub>), porém foi a densidade do solo o efeito mais drástico na diminuição da massa seca da raiz, com reduções de 80% e 72% para a Fpa<sub>80%</sub> e Fpa<sub>70%</sub>, respectivamente.

### 4.3. Área foliar

A área foliar foi afetada significativamente pela interação entre os níveis de compactação do solo e a fração de poros com água e pelos níveis de compactação do solo na presença ou ausência do herbicida.

Procópio et al. (2004), em um levantamento sobre as características fisiológicas da cultura da soja (cultivar UFV-19), em condições de campo, observaram que as plantas de soja, aos 39 dias após emergência, possuíam média de 302 cm<sup>2</sup> de área foliar em densidades propícias ao cultivo da soja, o que está de acordo com os resultados obtidos no trabalho aos 50 dias após a emergência (Quadro 4), em função da evolução do crescimento das plantas, na densidade de 1,0 e 1,2 g cm<sup>-3</sup>.

Quadro 4. Área foliar (cm<sup>2</sup> planta<sup>-1</sup>) de plantas de soja, cv. BRS-133, em função da densidade do solo e da fração de poros com água.

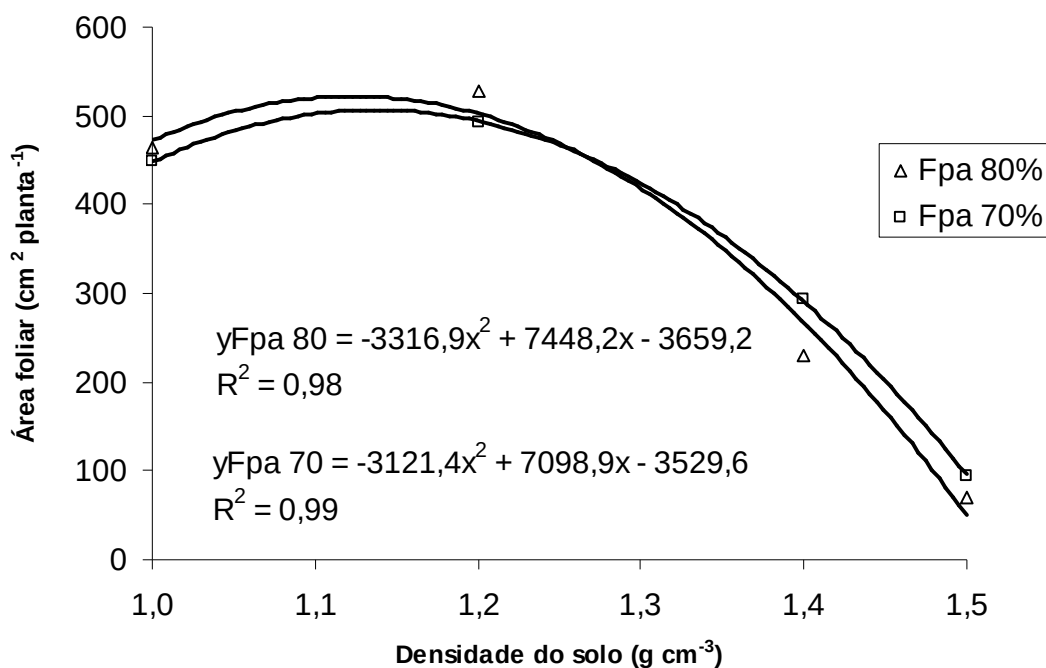
| Fração de poros com água | Densidade do solo (g cm <sup>-3</sup> ) |           |           |          |
|--------------------------|-----------------------------------------|-----------|-----------|----------|
|                          | 1,0                                     | 1,2       | 1,4       | 1,5      |
| Fpa <sub>70%</sub>       | 448,51 Aa                               | 492,16 Aa | 294,07 Ab | 93,94 Ac |
| Fpa <sub>80%</sub>       | 464,63 Ab                               | 527,34 Aa | 229,68 Bc | 70,11 Ad |

Médias seguidas pela mesma letra em maiúsculo na coluna e minúsculo na linha, não apresentam diferenças estatísticas significativas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Embora o incremento da área foliar dependa das condições de crescimento e da variedade em questão, é possível observar que, aos 50 dias após emergência, apenas na densidade de 1,4 g cm<sup>-3</sup> houve efeito significativo da Fpa. Independente do efeito da Fpa, os valores de área foliar obtidos nas densidades 1,4 e 1,5 são inferiores àqueles observados por Procópio et al. (2004), mesmo tendo as plantas deste experimento crescido por um período de 11 dias e tornando maiores do que as plantas daquele experimento. Além da presença da camada compactada, ocorre o problema de encharcamento do solo, propiciando um ambiente anaeróbico. Na ausência de O<sub>2</sub>, cessam o transporte de elétrons e a fosforilação oxidativa nas mitocôndrias; o ciclo do ácido tricarboxílico não pode operar e o ATP pode ser produzido apenas por fermentação. Assim, quando o suprimento de O<sub>2</sub> é insuficiente para a respiração aeróbica, as raízes, primeiramente, começam a fermentar piruvato a

lactato, pela ação da lactatodesidrogenase, cujo pH intracelular é diminuído, fazendo com que o rendimento líquido de ATP seja menor. Desta maneira, o dano ao metabolismo das raízes, por deficiência de  $O_2$ , origina-se em parte pela falta de ATP para governar processos metabólicos essenciais (Taiz & Zeiger, 2004). Assim, este mesmo princípio pode ser constatado na massa seca da parte aérea (Figura 2), a qual a parte aérea da planta é proporcional ao crescimento da sua área foliar (Quadro 4).

De forma semelhante à observada para o acúmulo de biomassa, houve um pequeno incremento na área foliar à medida que a densidade do solo aumentou até  $1,12 \text{ g cm}^{-3}$  (Fpa<sub>80%</sub>) ou até  $1,14 \text{ g cm}^{-3}$  (Fpa<sub>70%</sub>), pois nesta densidade, o solo apresentava um melhor arranjo de suas partículas e conseqüentemente, uma maior retenção de água e nutrientes. A partir destes pontos, o aumento da densidade do solo inibiu severamente a área foliar (Figura 4).



**Figura 4.** Área foliar ( $\text{cm}^2 \text{ planta}^{-1}$ ) de plantas de soja, cv. BRS-133, em função da densidade do solo para duas frações de poros com água (70 e 80% da porosidade total).

Sidiras & Vieira (1984) observaram que uma pequena compactação do solo pode propiciar melhor retenção de água, temperatura mais uniforme e melhores condições de absorção de nutrientes. Queiroz-Voltan et al. (2000)

observaram resultados semelhantes aos destes trabalhos, demonstrando que a área foliar diminuiu com o aumento da densidade do solo, a partir da densidade de  $1,2 \text{ g cm}^{-3}$ .

A densidade do solo foi o efeito mais pronunciado na redução da área foliar, pois ocorreu uma redução de 86% na  $F_{pa80\%}$  e de 81% na  $F_{pa70\%}$ .

Embora apenas na densidade de  $1,4 \text{ g cm}^{-3}$  tenha havido um efeito significativo da presença do herbicida na área foliar da soja, há uma tendência que o herbicida reduza esta variável (Quadro 5). Tal fato se acentua à medida que aumenta a densidade, provavelmente devido ao acúmulo do herbicida na superfície do solo, em função da restrição na sua percolação e conseqüente aumento da concentração disponível para absorção radicular pela cultura.

Quadro 5. Área foliar ( $\text{cm}^2 \text{ planta}^{-1}$ ) de plantas de soja, cv. BRS-133, em função da densidade do solo e presença ou ausência do herbicida sulfentrazone.

| Herbicida     | Densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ ) |           |           |          |
|---------------|------------------------------------------|-----------|-----------|----------|
|               | 1,0                                      | 1,2       | 1,4       | 1,5      |
| Com herbicida | 438,55 Ab                                | 498,47 Aa | 228,30 Bc | 76,47 Ad |
| Sem herbicida | 474,60 Aa                                | 520,02 Aa | 295,45 Ab | 87,58 Ac |

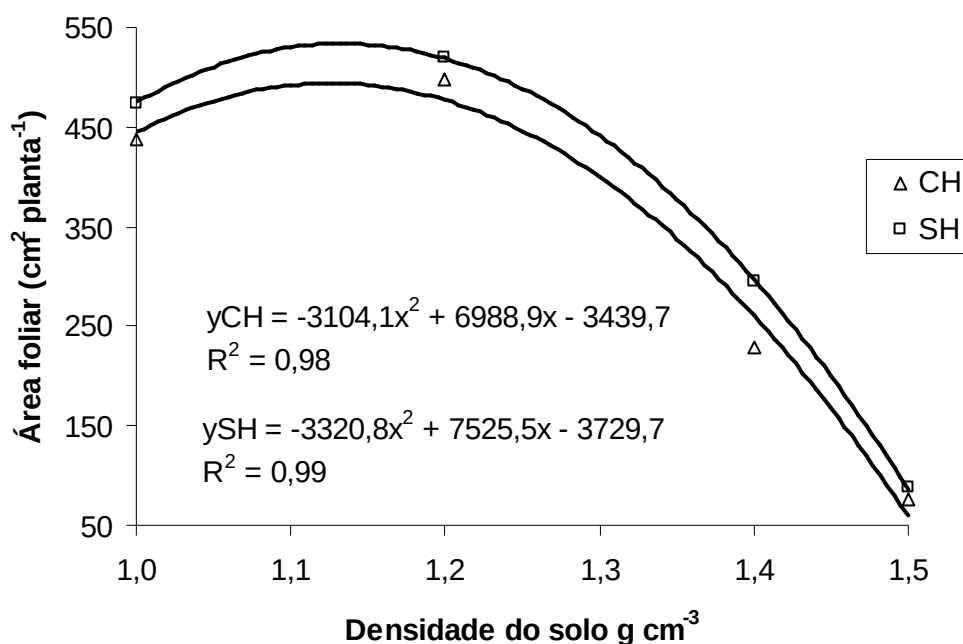
Médias seguidas pela mesma letra em maiúsculo na coluna e minúsculo na linha, não apresentam diferenças estatísticas significativas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Devido à compactação do solo, ocorre uma limitação do volume de solo para ser explorado pelo sistema radicular, resultando numa maior predisposição das raízes em se desenvolverem nas camadas superficiais com maiores concentrações do herbicida. O efeito de herbicidas em vasos torna-se mais pronunciado em razão, provavelmente, do fato de as plantas terem volume limitado de solo para explorar, em comparação com as condições de campo, em que o produto pode ficar mais diluído (Lawder, 2002). Para Hulting (2001), solos compactados e úmidos aumentam o tempo de exposição da planta ao sulfentrazone no solo, contribuindo para maiores injúrias, devido a maiores concentrações do herbicida na sua superfície, onde também há menores concentrações de oxigênio.

Os sintomas de fitointoxicação do sulfentrazone são originados a partir da inibição da ação da enzima Protox, a última enzima comum tanto à síntese da clorofila como do grupo heme, que inibe a transformação do

protoporfirogênio para protoporfirina (Duke et al., 1991; Lee et al., 1993), ocorrendo a oxidação citosólica do protoporfirogênio, com o conseqüente acúmulo de protoporfirina. Este composto, em tecidos iluminados na presença do O<sub>2</sub>, ocasiona a formação de oxigênio *singlet*, o qual, agindo como radical livre, provoca a peroxidação dos lipídios das membranas celulares em plantas ou tecidos sensíveis, com conseqüente morte celular (Lee et al, 1993; Dayan et al., 1996 e Hulting et al., 2001). A clorose é ocasionada pelo bloqueio da síntese de clorofila (Duke et al., 1991 e Dayan et al., 1996). A injúria na parte aérea das plantas expostas ao sulfentrazone parece ser facilitada pelo rápido transporte e acúmulo do herbicida nas folhas, onde é o seu local de ação, mais especificamente, o envelope do cloroplasto (Duke et al., 1991; Lee et al., 1993).

Com o aumento da densidade do solo, ocorre uma diminuição da área foliar, e esta diminuição é ainda mais pronunciada na presença do sulfentrazone, demonstrando a potencialização do efeito de fitointoxicação do herbicida para a soja nessas condições (Figura 5).



**Figura 5.** Área foliar (cm<sup>2</sup> planta<sup>-1</sup>) de plantas de soja, cv. BRS-133, em função da densidade do solo na presença (Δ) ou ausência (◻) do sulfentrazone.



Da mesma forma que observada para a área foliar em função da densidade do solo, houve um pequeno incremento na área foliar, à medida que a densidade do solo aumentou até  $1,13 \text{ g cm}^{-3}$  tanto para o tratamento com herbicida quanto para o tratamento sem herbicida, indicando que o aumento de densidade do solo, a partir deste nível, passou a afetar a área foliar da soja. É possível observar ainda que com herbicida houve uma redução mais acentuada da área foliar, quando comparado à ausência do herbicida. Swantek et al., (1998), avaliaram as injúrias causadas pelo sulfentrazone em variedades de soja susceptível e tolerante e constataram a diminuição da área foliar na presença do herbicida na soja susceptível, enquanto a soja tolerante não demonstrou diminuição da sua área foliar. Tal fato indica que a área foliar pode se constituir num indicador na avaliação da sensibilidade de espécies susceptíveis ou tolerantes ao sulfentrazone.

Oliveira Jr. et al. (2004) com uma metodologia semelhante à utilizada neste trabalho, observaram que os herbicidas imazaquin+trifluralin, aplicados em diferentes doses em solos compactados, apresentaram maior efeito tóxico à medida que a compactação do solo aumentou. A cultura da soja apresentou menor massa seca da parte aérea e de raízes, à medida que se aumentou a densidade do solo e a dose aplicada destes herbicidas. De forma semelhante, os resultados obtidos para área foliar indicam que a compactação do solo pode ser também um fator importante no aumento da sensibilidade da soja ao sulfentrazone.

A densidade do solo foi o efeito mais drástico na redução da área foliar, reduzindo em 85% na presença do sulfentrazone e, em 84% na ausência do mesmo.

#### **4.4. Número de nódulos**

Houve interação significativa entre os níveis de compactação do solo e a fração de poros com água, níveis de compactação do solo na presença ou ausência do herbicida e fração de poros com água e presença ou ausência do herbicida.

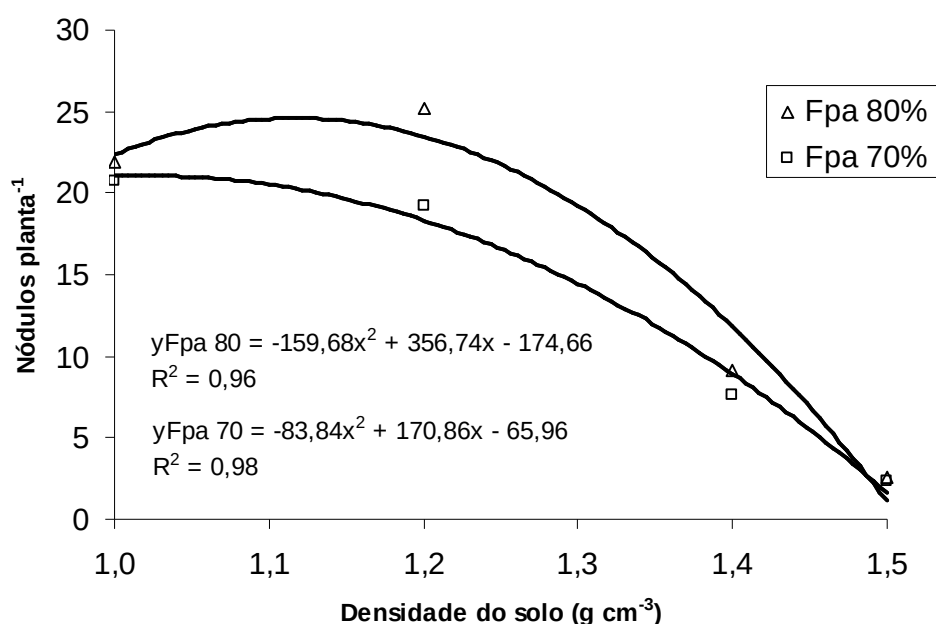
Para a densidade de 1,2 g cm<sup>-3</sup>, na fração de poros com água de 70% ocorreu uma menor produção do número de nódulos em comparação à fração de poros com água de 80% (Quadro 6).

Quadro 6. Números de nódulos de plantas de soja, cv. BRS-133, em função da densidade do solo e da fração de poros com água.

| Fração de poros<br>Com água | Densidade do solo (g cm <sup>-3</sup> ) |          |         |         |
|-----------------------------|-----------------------------------------|----------|---------|---------|
|                             | 1,0                                     | 1,2      | 1,4     | 1,5     |
| Fpa 70%                     | 20,79 Aa                                | 19,20 Ba | 7,60 Ab | 2,37 Ac |
| Fpa 80%                     | 21,87 Aa                                | 25,25 Aa | 9,16 Ab | 2,58 Ac |

Médias seguidas pela mesma letra em maiúsculo na coluna e minúsculo na linha, não apresentam diferenças estatísticas significativas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

O número de nódulos também foi significativamente afetado com o aumento da densidade do solo (Figura 6). Uma vez que o aumento da densidade do solo afetou o acúmulo de biomassa do sistema radicular, é possível que tal efeito tenha implicado a redução do número de nódulos, já que estes estão associados ao sistema radicular da planta, pois quanto maior for o sistema de raiz, maior será o número de nódulos.



**Figura 6.** Número de nódulos por plantas de soja, cv. BRS-133, em função da densidade do solo para duas frações de poros com água (70 e 80% da porosidade total).

Ocorreu um pequeno incremento inicial do número de nódulos das plantas de soja com o aumento da densidade do solo na Fpa de 80%, pois o ponto de máximo da curva ajustada foi na densidade de  $1,12 \text{ g cm}^{-3}$ . Para Fpa 70%, o aumento de densidade do solo comprometeu o número de nódulos por planta em todo o intervalo avaliado.

O efeito do aumento na densidade do solo foi o mais pronunciado, com uma redução de 22 nódulos por planta na Fpa<sub>80%</sub> e de 18 nódulos na Fpa<sub>70%</sub>, equivalentes a 90 e 88% de redução para estas Fpa's.

Segundo Hungria et al. (2001), uma planta de soja bem nodulada no campo, na época do florescimento, apresenta em torno de 15 e 30 nódulos ou 100 a 200 mg de nódulos secos por planta. Adotando-se esse referencial, apenas plantas cultivadas em densidades menores ou iguais a  $1,2 \text{ g cm}^{-3}$  teriam se aproximado de uma nodulação semelhante (Quadro 6 e 7).

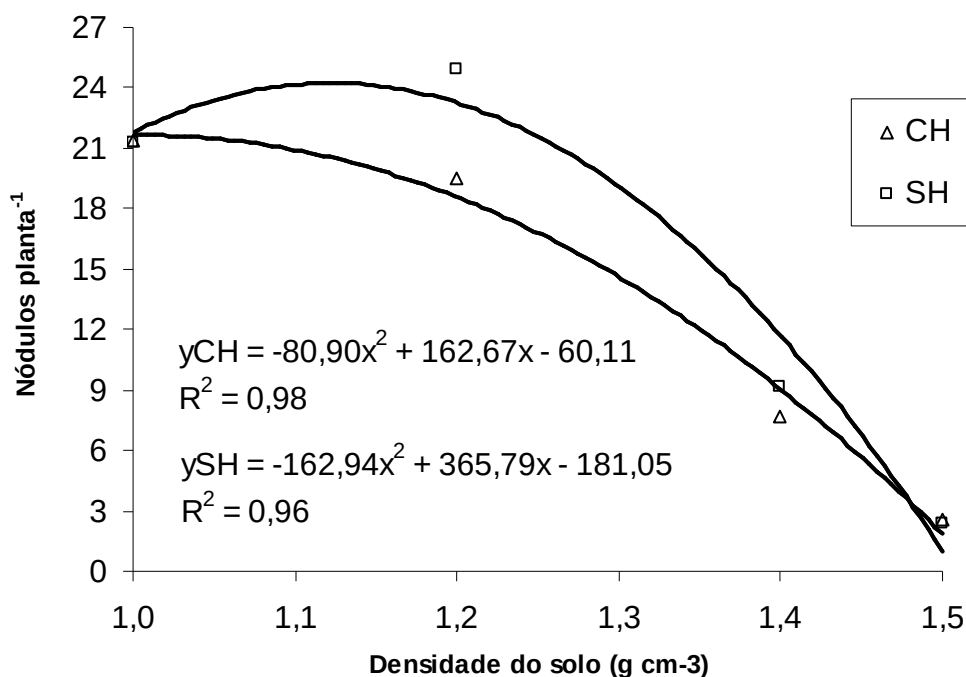
Quadro 7. Número de nódulos de plantas de soja, cv. BRS-133, em função da densidade do solo e presença ou ausência do herbicida sulfentrazone.

| Herbicida     | Densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ ) |          |         |         |
|---------------|------------------------------------------|----------|---------|---------|
|               | 1,0                                      | 1,2      | 1,4     | 1,5     |
| Com herbicida | 21,37 Aa                                 | 19,50 Ba | 7,66 Ab | 2,58 Ac |
| Sem herbicida | 21,29 Aa                                 | 24,95 Aa | 9,16 Ab | 2,37 Ac |

Médias seguidas pela mesma letra em maiúsculo na coluna e minúsculo na linha, não apresentam diferenças estatísticas significativas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Avaliando-se o efeito da interação entre compactação e herbicida no número de nódulos, observa-se no quadro 7 que há uma diminuição do número de nódulos por planta na densidade de  $1,2 \text{ g cm}^{-3}$  quando utilizou-se o sulfentrazone.

Na Figura 7, observa-se que, com o aumento da densidade do solo, ocorre também uma diminuição do número de nódulos, e esta diminuição é mais acentuada na presença do sulfentrazone.



**Figura 7.** Número de nódulos por plantas de soja, cv. BRS-133, em função da densidade do solo na presença ( $\Delta$ ) ou ausência ( ) do sulfentrazone.

Ocorreu um pequeno incremento no aumento do número de nódulos das plantas de soja com o aumento da densidade do solo, pois o ponto de máximo da curva ajustada foi na densidade de 1,12 g cm<sup>-3</sup> (SH), indicando que o aumento de densidade do solo, a partir deste nível, já estaria comprometendo o número de nódulos na planta. Na presença do sulfentrazone, o número de nódulos por planta foi reduzido em todos os pontos do intervalo da curva ajustada. Arruda et al. (2001), estudando a nodulação e a fixação do nitrogênio em soja tratada com sulfentrazone, também observaram redução significativa do número de nódulos em razão do aumento de doses do sulfentrazone.

Além do efeito do herbicida na redução do número de nódulos, foi o aumento na densidade do solo o efeito mais pronunciado, com uma redução na maior densidade de 18 nódulos por planta na presença do herbicida (87% de redução) e de 22 nódulos por planta na ausência do herbicida, (90% de redução).

Quando comparados as plantas controle sem herbicida com as plantas tratadas com sulfentrazone na dose recomendada pelo fabricante, verificou-se que houve uma redução de 33% no número de nódulos (Quadro 8).

No Quadro 8, observa-se uma redução de 22% no número de nódulos na presença do herbicida na fração de poros com água de 80%, sugerindo que a maior fração de poros com água pode ter facilitado a chegada do herbicida ao sistema radicular aumentando a intensidade de absorção do produto.

Quadro 8. Número de nódulos por plantas de soja, cv. BRS-133, em função da presença ou ausência do herbicida sulfentrazone na fração de poros com água.

| Fpa \ Herbicida    | Herbicida     |               |
|--------------------|---------------|---------------|
|                    | Sem herbicida | Com herbicida |
| Fpa <sub>70%</sub> | 12,37 Ba      | 12,64 Aa      |
| Fpa <sub>80%</sub> | 16,52 Aa      | 12,91 Ab      |

Médias seguidas pela mesma letra em maiúsculo na coluna e minúsculo na linha, não apresentam diferenças estatísticas significativas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

#### 4.5. Massa seca dos nódulos

Com relação à massa seca dos nódulos, ocorreu interação significativa entre os níveis de compactação do solo e a fração de poros com água, e níveis de compactação do solo e a presença ou ausência do herbicida.

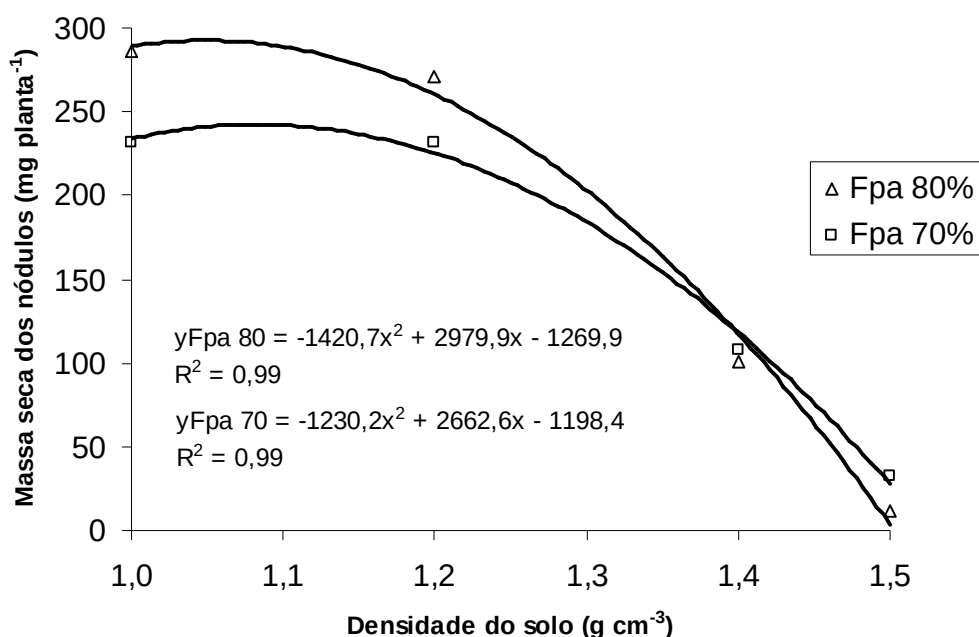
Da mesma forma que ocorreu um menor número de nódulos na densidade de 1,2 g cm<sup>-3</sup> numa Fpa<sub>70%</sub> pelos dados do Quadro 9, é possível observar não somente uma menor massa seca dos nódulos na densidade de 1,2 g cm<sup>-3</sup>, mas também um menor peso dos nódulos na densidade de 1,0 g cm<sup>-3</sup>, indicando que sob menor fração de poros com água a planta formou um menor número de nódulos e também uma menor massa seca destes nódulos, o qual irá influenciar na fixação e no acúmulo de nitrogênio.

Quadro 9. Massa seca dos nódulos (mg planta<sup>-1</sup>) de plantas de soja, cv. BRS-133, em função da densidade do solo e da fração de poros com água.

| Fração de poros com água | Densidade do solo (g cm <sup>-3</sup> ) |        |        |       |
|--------------------------|-----------------------------------------|--------|--------|-------|
|                          | 1,0                                     | 1,2    | 1,4    | 1,5   |
| Fpa <sub>70%</sub>       | 232 Ba                                  | 232 Ba | 108 Ab | 33 Ac |
| Fpa <sub>80%</sub>       | 286 Aa                                  | 271 Aa | 101 Ab | 12 Ac |

Médias seguidas pela mesma letra em maiúsculo na coluna e minúsculo na linha, não apresentam diferenças estatísticas significativas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Na Figura 8, observa-se uma drástica redução na massa seca dos nódulos com o aumento da compactação do solo. Este mesmo comportamento também é observado no número de nódulos na figura 6, e na massa seca da raiz na figura 3, que apresentaram menor crescimento radicular e, conseqüentemente, menor número de nódulos e menor massa seca destes nódulos.



**Figura 8.** Massa seca dos nódulos de plantas de soja, cv. BRS-133, em função da densidade do solo para duas frações de poros com água (70 e 80% da porosidade total).

Praticamente não houve incremento no acúmulo de massa seca dos nódulos com o aumento da densidade do solo, pois os pontos de máximos das curvas ajustadas foram nas densidades de 1,05 g cm<sup>-3</sup> (Fpa<sub>80%</sub>) e 1,08 g cm<sup>-3</sup> (Fpa<sub>70%</sub>), indicando que o aumento da densidade do solo, a partir destes níveis, passou a afetar o acúmulo de massa seca dos nódulos.

Evidenciando que a densidade do solo foi efeito mais pronunciado, ocorreu uma redução na massa seca dos nódulos de 96% (Fpa<sub>80%</sub>) e de 86% (Fpa<sub>70%</sub>).

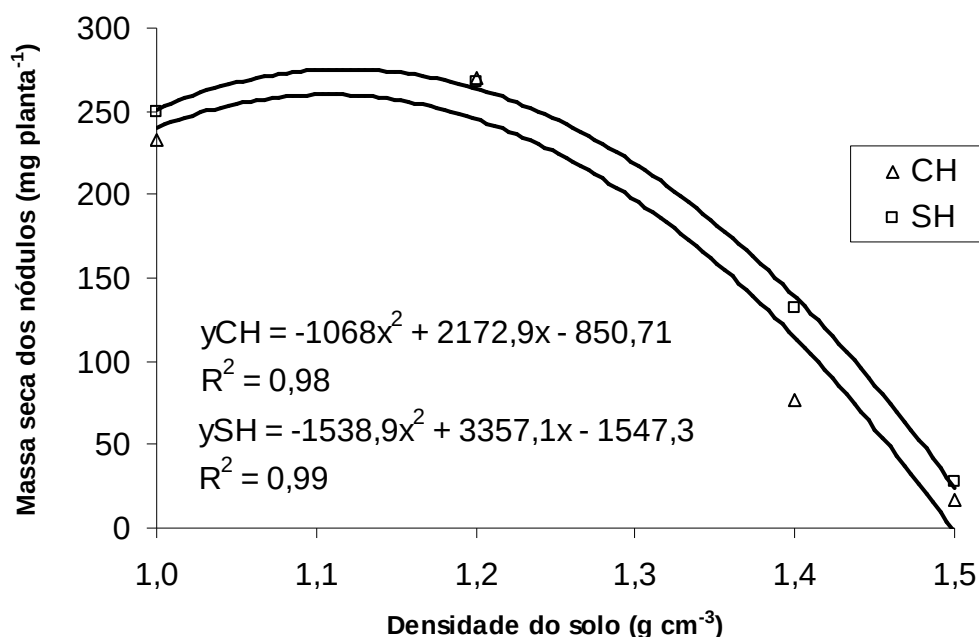
Observa-se, no quadro 10, que, na presença do sulfentrazone, a massa seca dos nódulos é reduzida em 13,7 e 41,66% para as densidades de 1,0 e 1,4 g cm<sup>-3</sup>, respectivamente, mostrando que o sulfentrazone causou um efeito negativo na população de bactérias simbióticas, resultando em um menor número de nódulos, e uma menor massa seca destes nódulos. E, conseqüentemente, diminuiu a fixação de nitrogênio para a cultura da soja. Devido à compactação do solo, ocorre uma limitação do volume de solo para ser explorado pelo sistema radicular, resultando numa maior predisposição das raízes e nódulos em se desenvolverem nas camadas superficiais com maiores concentrações do sulfentrazone. Segundo Hulting (2001), solos compactados e úmidos aumentam o tempo de exposição da planta ao sulfentrazone no solo, contribuindo para maiores injúrias, devido a maiores concentrações do herbicida nesta superfície.

Quadro 10. Massa seca dos nódulos (mg planta<sup>-1</sup>) de plantas de soja, cv. BRS-133, em função da densidade do solo e presença ou ausência do herbicida sulfentrazone.

| Herbicida     | Densidade do solo (g cm <sup>-3</sup> ) |        |        |       |
|---------------|-----------------------------------------|--------|--------|-------|
|               | 1,0                                     | 1,2    | 1,4    | 1,5   |
| Com herbicida | 233 Ba                                  | 250 Aa | 77 Bb  | 17 Ac |
| Sem herbicida | 270 Aa                                  | 268 Aa | 132 Ab | 28 Ac |

Médias seguidas pela mesma letra em maiúsculo na coluna e minúsculo na linha, não apresentam diferenças estatísticas significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Com o aumento da densidade do solo, ocorre uma diminuição da massa seca dos nódulos, e esta diminuição é mais acentuada na presença do sulfentrazone (Figura 9). Essa redução da massa seca dos nódulos ocorreu de forma indireta pelo herbicida, acarretando menor produção e menor quantidade de fotoassimilados translocados e alocados aos nódulos, pois o fornecimento de fotoassimilados é essencial a sua formação e manutenção da atividade da enzima nitrogenase presente nos nódulos (Arruda et al., 2001).



**Figura 9.** Massa seca dos nódulos de plantas de soja, cv. BRS-133, em função da densidade do solo na presença (Δ) ou ausência (◻) do sulfentrazone.

Houve um discreto incremento inicial na massa seca destes nódulos com o aumento da densidade do solo, cujos pontos de máximo das curvas ajustadas foram nas densidades de 1,02 (CH) e 1,09 (SH), indicando que o aumento de densidade do solo, a partir destes níveis, levou a uma diminuição da massa seca dos nódulos, além de que essa diminuição foi acentuada na presença do sulfentrazone.

O efeito do aumento na densidade do solo foi o mais drástico na redução da massa seca dos nódulos, com uma diminuição de 93% na presença do sulfentrazone e de 90% na sua ausência.

#### 4.6. Acúmulo de nitrogênio

O acúmulo de nitrogênio foi afetado significativamente pela interação entre os níveis de compactação do solo e a fração de poros com água e níveis de compactação do solo na presença ou ausência do herbicida.

No Quadro 11, observa-se que na densidade de 1,4 g cm⁻³, houve um menor acúmulo de nitrogênio na Fpa de 70% e, para as demais densidades não ocorreu o efeito da fração de poros com água no acúmulo de nitrogênio.

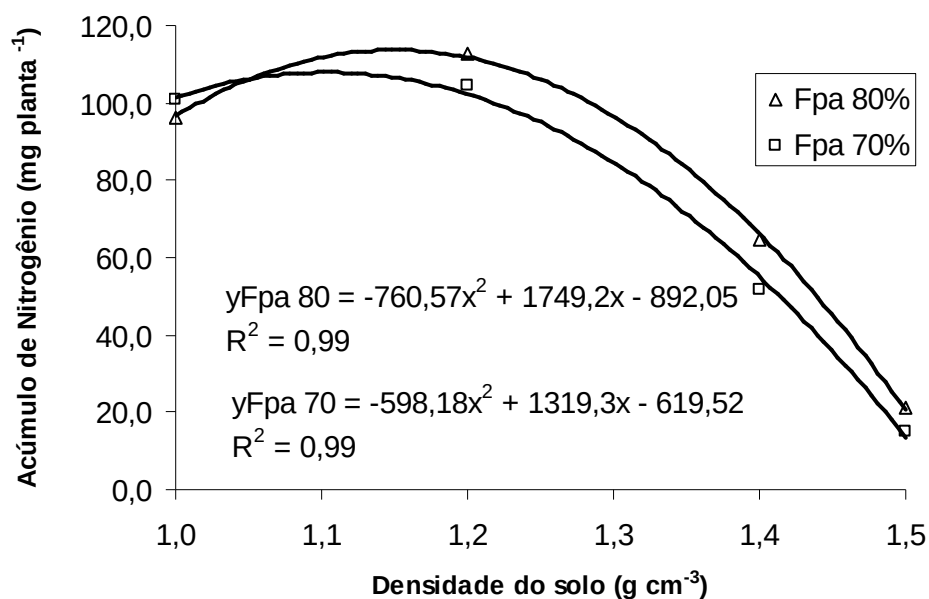


Quadro 11. Acúmulo de nitrogênio ( $\text{mg planta}^{-1}$ ) de plantas de soja, cv. BRS-133, em função da densidade do solo e da fração de poros com água.

| Fração de poros<br>com água | Densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ ) |           |          |          |
|-----------------------------|------------------------------------------|-----------|----------|----------|
|                             | 1,0                                      | 1,2       | 1,4      | 1,5      |
| Fpa 70%                     | 100,97 Aa                                | 104,28 Aa | 51,98 Bb | 15,13 Ac |
| Fpa 80%                     | 96,33 Aa                                 | 112,73 Aa | 64,76 Ab | 21,25 Ac |

Médias seguidas pela mesma letra em maiúsculo na coluna e minúsculo na linha, não apresentam diferenças estatísticas significativas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Ao avaliar o efeito da densidade no acúmulo de nitrogênio (Figura 10), pode-se observar que em uma condição de menor disponibilidade de água para as plantas (Fpa 70%), ocorre um menor acúmulo de nitrogênio. A deficiência hídrica reduz o consumo e transporte de assimilados nas folhas em expansão, como consequência diminui indiretamente a quantidade de fotossintatos exportados das folhas. Uma vez que o transporte do floema depende do turgor, a redução do potencial hídrico no floema, durante a deficiência hídrica, pode inibir o movimento de assimilados (Taiz & Zeiger, 2004). Além disso, em densidades mais elevadas, também houve efeito inibitório do desenvolvimento do sistema radicular e da nodulação, o que contribuiu para o menor acúmulo de nitrogênio em menores densidades.



**Figura 10.** Acúmulo de nitrogênio (mg planta<sup>-1</sup>) na parte aérea de plantas de soja, cv. BRS-133, em função da densidade do solo para duas frações de poros com água (70 e 80% da porosidade total).

Observa-se que houve um pequeno incremento no acúmulo de nitrogênio das plantas de soja no intervalo entre as densidades de 1,0 e 1,2 g cm<sup>-3</sup>. Os pontos de máximo das curvas ajustadas foram nas densidades de 1,15 g cm<sup>-3</sup> (Fpa<sub>80%</sub>) e 1,10 g cm<sup>-3</sup> (Fpa<sub>70%</sub>), indicando que o aumento da densidade do solo, a partir destes níveis, passou a comprometer o acúmulo de nitrogênio. O aumento da densidade do solo comprometeu o sistema radicular, diminuindo a formação de nódulos e a fixação biológica do nitrogênio; com isso, a produção de massa seca da parte aérea foi severamente reduzida, a qual refletiu em um menor acúmulo de nitrogênio na planta. Como nas demais variáveis, o efeito mais pronunciado foi o da compactação, com uma redução de 81% para a Fpa<sub>80%</sub> e de 85% para a Fpa<sub>70%</sub>.

Os resultados anteriores demonstraram que houve diminuição do número de nódulos e também da massa seca destes nódulos na presença do sulfentrazone. Os dados do Quadro 12 evidenciam que esse efeito também foi observado para acúmulo de nitrogênio nas plantas, sendo essa redução significativa nas densidades de 1,0 e 1,2 g cm<sup>-3</sup>, pois, nas densidades maiores, o efeito mais pronunciado, influenciando essa diminuição, foi a compactação do solo, que acarretou um menor crescimento de raiz, menor número de nódulos,

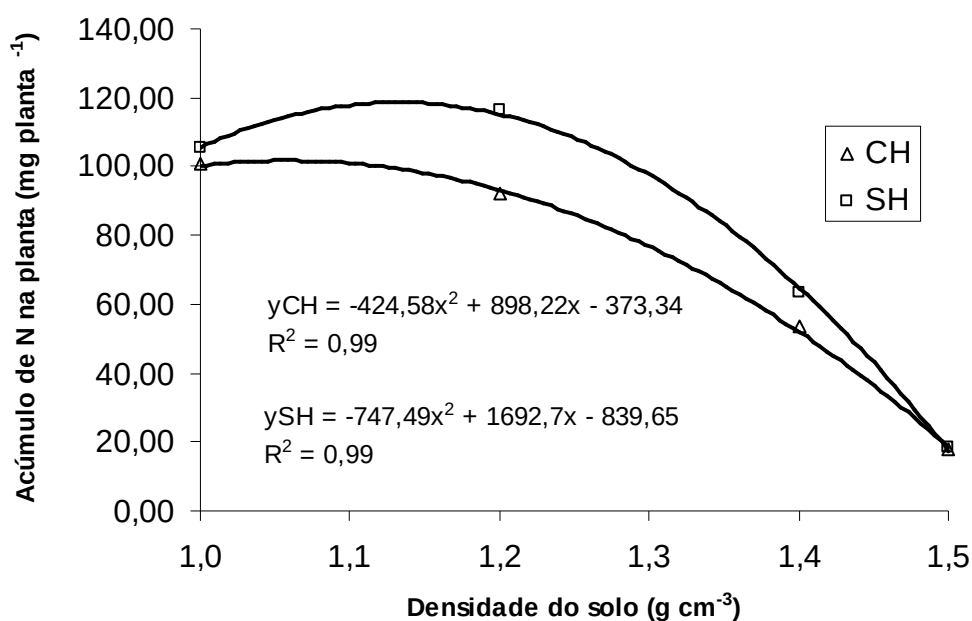
menor massa seca destes nódulos e, conseqüentemente, menor acúmulo de nitrogênio na parte aérea da soja.

Quadro 12. Acúmulo de nitrogênio ( $\text{mg planta}^{-1}$ ) de plantas de soja, cv. BRS-133, em função da densidade do solo e presença ou ausência do herbicida sulfentrazone.

| Herbicida     | Densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ ) |           |          |          |
|---------------|------------------------------------------|-----------|----------|----------|
|               | 1,0                                      | 1,2       | 1,4      | 1,5      |
| Com herbicida | 92,12 Ba                                 | 100,61 Ba | 53,52 Ab | 17,88 Ac |
| Sem herbicida | 105,19 Aa                                | 116,40 Aa | 63,23 Ab | 18,50 Ac |

Médias seguidas pela mesma letra em maiúsculo na coluna e minúsculo na linha, não apresentam diferenças estatísticas significativas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Na Figura 11, observa-se tendência da diminuição do acúmulo de nitrogênio quando se aumenta a compactação do solo, sendo esta diminuição mais acentuada na presença do sulfentrazone, evidenciando a potencialização do efeito tóxico do herbicida a cultura em solos compactados.



**Figura 11.** Acúmulo de nitrogênio ( $\text{mg planta}^{-1}$ ) na parte aérea de plantas de soja, cv. BRS-133, em função da densidade do solo na presença ( $\Delta$ ) ou ausência ( ) do sulfentrazone.

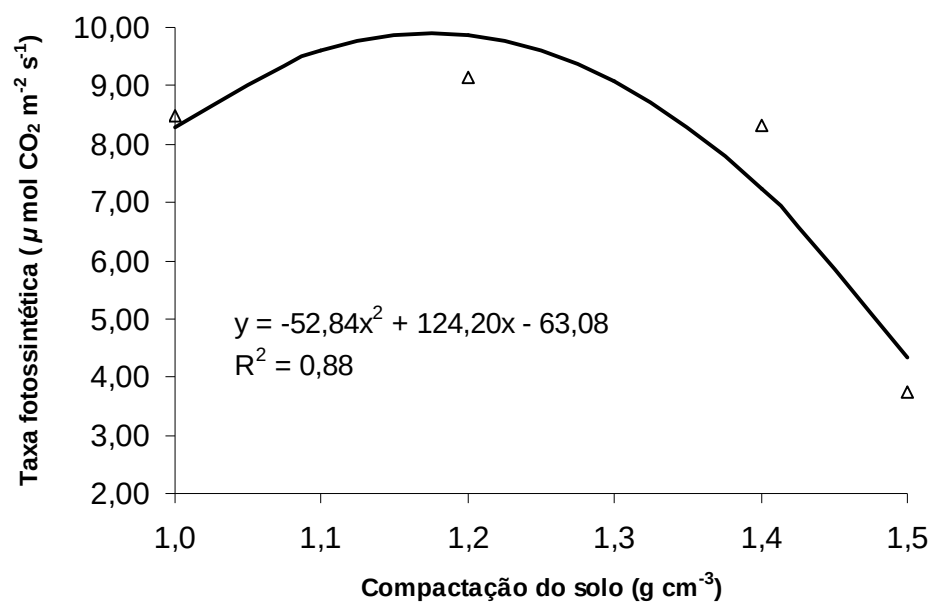
Da mesma forma que houve um pequeno incremento no número de nódulos com o aumento da densidade do solo, ocorreu também um pequeno

incremento no acúmulo de nitrogênio das plantas de soja com o aumento da densidade, pois o ponto de máximo da curva ajustadas ocorreu na densidade de 1,13 (SH), indicando que o aumento de densidade do solo, a partir deste nível, já estaria comprometendo o acúmulo de nitrogênio na planta. Esta diminuição é mais acentuada na presença do sulfentrazone que mostrou um ponto de máximo em 1,05 g cm<sup>-3</sup> (CH), ou seja, na presença do sulfentrazone houve inibição do acúmulo de nitrogênio mesmo sob condições normais de densidade do solo.

Além do efeito do herbicida na redução do acúmulo de nitrogênio, foi também o aumento na densidade do solo o efeito mais pronunciado, com uma redução de 82% na presença do herbicida e de 84% na sua ausência.

#### **4.7. Taxa fotossintética**

Embora a taxa fotossintética dependa das condições de crescimento e variedade, Procópio et al. (2004) observaram que plantas de soja (cultivar UFV-19), aos 39 dias após emergência, possuía taxa fotossintética média de 12,442  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  em condições de campo, o que se aproxima do valor máximo obtido (9,90  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) na densidade de 1,17, que é o ponto de máximo obtido através da curva ajustada (Figura 12). No entanto, a partir dessa densidade, houve inibição intensa da taxa fotossintética. Segundo Taiz & Zeiger (2004), nas maiores densidades do solo, há uma menor taxa de difusão de oxigênio, fazendo com que as raízes fiquem em condições anaeróbicas, faltando energia suficiente para sustentar processos fisiológicos dos quais dependem as partes aéreas. As folhas velhas senescem prematuramente por causa da realocação de nutrientes móveis no floema (N, P, K) para as folhas jovens. A permeabilidade mais baixa das raízes à água frequentemente leva a um decréscimo do potencial hídrico da folha e a murcha, embora este decréscimo seja temporário se os estômatos fecharem, evitando mais perda de água por transpiração. Estes mesmos autores citam ainda que a taxa fotossintética da folha pode ser diminuída, pois o fechamento estomático inibe a transpiração, diminuindo as concentrações intercelulares de CO<sub>2</sub>.



**Figura 12.** Taxa fotossintética de plantas de soja, cv. BRS-133, em função da densidade do solo.

## 5. CONCLUSÕES

A fração de poros com água influenciou a massa seca da parte aérea, massa seca da raiz, área foliar, número de nódulos, massa seca dos nódulos e acúmulo de nitrogênio, sendo que, na maior fração de poros preenchidos com água (80%) e nas menores densidades do solo ( $1,0 - 1,2 \text{ g cm}^{-3}$ ), o efeito é positivo. Em densidades superiores a  $1,2 \text{ g cm}^{-3}$ , o efeito é antagônico.

O sulfentrazone reduziu a área foliar, formação de nódulos, massa seca dos nódulos e o acúmulo de  $\text{N}_2$  na parte aérea, sendo estes efeitos mais acentuados com o aumento da densidade do solo.

A taxa fotossintética líquida foi severamente reduzida com o aumento da densidade do solo.

De modo geral, a compactação do solo foi o fator mais acentuado na redução das variáveis estudadas.

## 6. REFERÊNCIAS

ALVES, P.L.C.A; JUNIOR, J.M.; FERRAUDO, A.S. Soil attributes and the efficiency of sulfentrazone on control of purple nutedge (*Cyperus rotundus* L.). **Scientia Agricola**, v.61, n.3, p.319-325, 2004.

ARRUDA, J.S.; LOPES, N.F.; BACARIN, M.A. Crescimento de plantas de soja em função de doses de sulfentrazone. **Planta Daninha**, v.17, n.3, p.375-386, 1999.

ARRUDA, J.S.; LOPES, N.F.; BACARIN, M.A. Nodulação e fixação do dinitrogênio em soja tratada com sulfentrazone. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.3, p. 325-330, 2001.

BEUTLER, A.N. **Efeito da compactação do solo e do conteúdo de água nas características agronômicas de soja e arroz sequeiro**. Jaboticabal: UNESP, 2003. 135p. (Tese – Doutorado em Produção Vegetal)

CANALLI, L.B.; ROLOFF, G. Influência do preparo e da correção do solo na condição hídrica de um latossolo vermelho-escuro sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.99-104, 1997.

CHRISTOFFOLETI, P.J.; OVEJERO, R.F.L.; CARVALHO, J.F. Aspectos de resistência de plantas daninhas a herbicidas. Associação Brasileira de Ação a resistência de Plantas Daninhas aos Herbicidas (HRAC-BR), 100 p. 2004.

DAYAN, F.E.; WEETE, J.D. Mechanism of tolerance to a novel phenyl triazolinone herbicide. **Plant Physiology**, p.111-119, 1996.

DAYAN, F.E.; WEETE, J.D.; HANCOCK, H.G. Physiological basis for differential sensitivity to sulfentrazone by sicklepod (*Senna obtusifolia*) and coffee senna (*Cassia occidentalis*). **Weed Science**, v.44, p.12-17, 1996.

DAYAN, F.E.; WEETE, J.D.; DUKE, S.O.; HANCOCK, H.G. Soybean (*Glycine max*) cultivar differences in response to sulfentrazone. **Weed Science**, v.45, p.634-641, 1997.

DIRKS, J.T.; JOHNSON, W.G.; SMEDA, R.J.; WIEBOLD, W.J.; MASSEY, R. Reduced rates of sulfentrazone plus chlorimuron and glyphosate in no-till, narrow-row, glyphosate-resistant *Glycine max*. **Weed Science**, v.48, p.618-627, 2000.

DOOHAN, D.; FIGUEROA, R. Environmental factors that may affect sulfentrazone (Spartan<sup>TM</sup>) selectivity on newly planted strawberries. Dept. Horticulture and Crop Science, OARDC, Wooster. Disponível em: <<http://ipm.osu.edu/mini/02m-3.htm>. Acesso em: 22 jul. 2004.

DUKE, S.O.; LYDON, J.; BECERRIL, J.M.; SHERMAN, T.D.; LEHNEN JR., L.P.; MATSUMOTO, H. Protoporphyrinogen oxidase-inhibiting herbicides. **Weed Science**, v.39, p.465-473, 1991.

DURIGAN, J.C.; TIMOSSI, P.C.; LEITE, G.J. Controle químico da tiririca (*Cyperus rotundus*), com e sem cobertura do solo pela palhada de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, v.22, n.1, 2004.

EMBRAPA. **Recomendações técnicas para a cultura da soja no Paraná 2000/2001**. Londrina: Centro Nacional de Pesquisa de Soja 2000. (Embrapa-CNPSO, Documentos, 145).

EPA. (United States Environmental Protection Agency). **Pesticide Fact Sheet**. Registration Division (7505c), 401, Washington, DC 20460. 1997.

FMC Corporation. Technical Bulletin of Sulfentrazone. Philadelphia: FMC Corporation, 1995. 6 p.

FMC [S.I.] Boral 500 SC., 1997. Folder



FMC. Boral 500 SC. Campinas, 2000. Folder.

FMC [S.I.] 2001. Disponível em: <<http://ag.fmc.com/ag/product/authority/quest.03>> ago. 2004.

GOEDERT, W.J.; SCHERMACK, M.J.; DE FREITAS, F.C. Estado de compactação do solo em áreas cultivadas no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.223-227, 2002.

GREY, T.L.; WALKER, R.H.; WEHTJE, G.R.; DAYAN F.E.; WEETE, J.D.; HANCOCK, H.G.; KWON, O. Behavior of sulfentrazone in ionic exchange resins, electrophoresis gels, and cation-saturated soils. **Weed Science**, v.48, p.239-247, 2000.

GREY, T.L.; WALKER, R.H.; WEHTJE, G.R.; HANCOCK, H.G. Sulfentrazone adsorption and mobility as affected by soil and pH. **Weed Science**, v.45, p.733-738, 1997.

GUSTAFSON, D.I. Groundwater ubiquity score: a simple method for assessing pesticide leachability. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v.8, p.339-357, 1989.

HULTING, A.G.; WAX, L.M.; NELSON, R.L.; SIMMONS, F.W. Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) cultivars tolerance to sulfentrazone. **Crop Protection**, v.20, p.679-683, 2001.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R.J.; MENDES, I.C. Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja. Brasília: Embrapa Cerrados, 2001, 48p. (Circular Técnica, 13).

INOUE, M.H.; OLIVEIRA JR., R.S.; REGINATO, J.B.; TORMENA, C.A.; TORNISIELO, V.L.; CONSTANTIN, J. Critérios para avaliação do potencial de lixiviação dos herbicidas comercializados no Estado do Paraná. **Planta Daninha**, v.21, n.2, p.313-323, 2003.

KRAUSZ, R.F.; KAPUSTA, G.; MATTHEWS, J.L. Sulfentrazone for weed control in soybean (*Glycine max*). **Weed Technology**, v.12, p.684-689, 1998.

LAWDER, M.R. **Crescimento e produtividade da soja [*Glycine max* (L.) Merr.] submetida ao herbicida sulfentrazone**. Maringá: Faculdade de Agronomia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2002. 58f. (Dissertação – Mestrado em Produção Vegetal).

LETEY, J.; MORGAN, W.C.; RICHARDS, S.J.; VALORAS, N. Physical soil amendments, soil compaction, irrigation, and wetting agents in turfgrass management III. Effects on oxygen diffusion rate and root growth. **Agronomy Journal**, v.58, p.531-535, 1966.

LEE, H.J.; DUKE, S.O.; DUKE, M.V. Cellular localization of protoporphyrinogen-oxidizing activities of etiolated barley (*Hordeum vulgare* L.) leaves. **Plant Physiology**, v.102, p.881-889, 1993.

LI, Z.; WALKER, R.H.; WEHTJE, G.; HANCOCK, H.G. Use of seedling growth parameters to classify soybean (*Glycine max*) cultivar sensitivity to sulfentrazone. **Weed Technology**, v.13, p.530-535, 1999.

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

MEDEIROS, J.C.; SERRANO, E.R.; HERNANZ, J.L.; GIRON, V.S.; DANIEL, L.A. Efecto de distintos sistemas de laboreo sobre la infiltración del agua en el suelo. **Congresso Latino Americano de Ciencia do Solo**, v.13, 1996.

MORGAN, W.C.; LETEY, J.; RICHARDS, S.J.; VALORAS, N. Physical soil amendments, soil compaction, irrigation, and wetting agents in turfgrass management I. Effects on compactability, water infiltration rates, evapotranspiration, and number of irrigations. **Agronomy Journal**, v.58, p.525-527, 1966.

MUELLER, M.M.L.; CECCON, G.; ROSOLEM, C.A. Influência da compactação do solo em subsuperfície sobre o crescimento aéreo e radicular de plantas de adubação verde de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, n.3, p.531-538, 2001.

NIEKAMP, J.W.; JOHNSON, W.G. Weed management with sulfentrazone and flumioxazin in no-tillage soyabean (*Glycine max*). **Crop Protection**, v.20, p.215-220, 2001.

NOGUEIRA, S. dos S.S.; MANFREDINI, S. Influência da compactação do solo no desenvolvimento da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.18, p.973-976, 1983.

OLIVEIRA JR., R.S.; CONSTANTIN, J. **Plantas daninhas e seu manejo**. Guaíba: Agropecuária, 2001. 362 p.

OLIVEIRA JR., R.S.; CONSTANTIN, J.; CAVALIERI, S.D.; PAGLIARI, P.H.; ZOBIOLE, L.H.S.; TORMENA, C.A. Compactação do solo afeta a fitotoxicidade de herbicidas. In: Congresso Brasileiro de Ciência das Plantas Daninhas, 24. Anais. São Pedro, SP: SBCPD, 2004 (CD-ROM)

PEREIRA, J.O.; SIQUEIRA, J.A.C.; OPAZO, M.A.U.; SILVA, S.L.; Resistência do solo à penetração em função do sistema de cultivo e teor de água do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.1, p.171-174, 2002.

PREVEDELLO, C.L. **Física do solo com problemas resolvidos**. Curitiba, 1996, 446p.

PROCÓPIO, S.O.; SANTOS, J.B.; SILVA, A.A.; MARTINEZ, C.A.; WERLANG, R.C. Características fisiológicas das culturas de soja e feijão e de três espécies de plantas daninhas. **Planta Daninha**, v.22, n.2, p.211-216, 2004.

QUEIROZ-VOLTAN, R.B.; NOGUEIRA, S.S.S.; MIRANDA, A.C. Aspectos da estrutura da raiz e do desenvolvimento de plantas de soja em solos compactados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.5, p.929-938, 2000.

REDDY, K.N.; LOCKE, M.A. Sulfentrazone sorption, desorption, and mineralization in soils from two tillage systems. **Weed Science**, v.46, p.494-500, 1998.

RIBEIRO, M.A.V. **Resposta da soja e do eucalipto a fósforo em solos de diferentes texturas, níveis de densidade e de umidade**. Lavras: UFLA, 1999. 71p. (Tese – Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)

ROMAN, E.S.; TOSSO, F.; MARINHO, J.A. Respostas de cultivares de soja a herbicidas. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.1, n.2, p.133-137, 2000.

RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA, F.S. **Guia de herbicidas**. Londrina: Ed. dos Autores, 1998. p.197-200.

RODRIGUES, B.N.; LIMA, J.; UBUKATA YADA, I.F.; FORNAROLLI, D.A. Influência da cobertura morta no comportamento do herbicida sulfentrazone. **Planta Daninha**, v.17, n.3. p.445-458, 1999.

ROSSI, C.V.S.; ALVES, P.L.C.A.; MARQUES JÚNIOR, J. Mobilidade do sulfentrazone em nitossolo vermelho e em neossolo quartzarênico. **Planta Daninha**, v.21, n.1, p.111-120, 2003.

SIDIRAS, N.; VIEIRA, M.J. Comportamento de um latossolo roxo distrófico, compactado pelas rodas do trator na semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.19, p.1285-1293, 1984.

SPADOTTO, C.A. Screening method for assessing pesticide leaching potential. **Pesticidas: R. Ecotoxicol. e Meio Ambiente**, v.12, p.69-78, 2002.

STONE, L.F.; GUIMARÃES, C.M.; MOREIRA, J.A.A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro. I. efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.2, p.207-212, 2002.

SWANTEK, J.M.; SNELLER, C.H.; OLIVER, L.R. Evaluation of soybean injury from sulfentrazone and inheritance of tolerance. **Weed Science**, v.46, p.271-277, 1998.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3 ed., Porto Alegre, 2004, p.719.

TAYLOR-LOVELL, S.; WAX, L. M.; NELSON, R. Phytotoxic response and yield of soybean (*Glycine max*) varieties treated with sulfentrazone or flumioxazin. **Weed Technology**, v.15, p.95-102, 2001.

THEODORIDIS, G.; BAHR, J.T.; HOTZMAN, F.W.; SEHGEL, S.; SUAREZ, D. P. New generation of protox-inhibiting herbicides. **Crop Protection**, v.19, p.533-535, 2001.

TORMENA, C.A.; BARBOZA, M.C.; DA COSTA, A.C.S.; GONÇALVES, C.A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agrícola**, v.59, n.4, p.795-801, 2002.

TORRES, E.; SARAIVA, O.F. Camadas de impedimento do solo em sistemas agrícolas com a soja. Brasília: Embrapa Cerrados, 1999, 58p. (Circular Técnica, 13).

TORMENA, C.A.; ROLOFF, G.; SÁ, J.C.M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.301-309, 1998.

TUBEILEH, A.; RENAUD, G.V.; PLANTUREUX, S.; GUCKERT, A. Effect of soil compaction on photosynthesis and carbon partitioning within a maize-soil system. **Soil & Tillage Research**, v.71, p.151-161, 2003.

VANGESSEL, M.J.; MONKS, D.W.; JOHNSON, Q.R. Herbicides for potential use in Lima bean (*Phaseolus lunatus*) production. **Weed Technology**, v.14, p.279-286, 2000.

VELINI, E.D. Comportamento de herbicida no solo. In: Simpósio Nacional sobre Manejo de Plantas Daninhas em Hortaliças, 1992. Botucatu: Resumos...Botucatu, p. 44-64, 1992.

VIDRINE, P.R.; JORDAN, D.L.; GRIFFIN, J.L; REYNOLDS, D.B. Broadleaf weed control in soybean (*Glycine max*) with sulfentrazone. **Weed Technology**, v.10, p.762-765, 1996.

WEHTJE, G.R.; WALKER, R.H.; GREY, T.L.; HANCOCK H.G. Response of purple (*Cyperus rotundus*) and yellow nutsedges (*C. esculentus*) to selective placement of sulfentrazone. **Weed Science**, v.45, p.382-387, 1997.

ZHAOHU, L.; ROBERT H. W.; GLENN, W.; HANCOCK H.G. Use of seedling growth parameters to classify soybean (*Glicine max*) cultivar sensitivity to sulfentrazone. **Weed Technology**, v.13, p.530-535, 1999.

## **APÊNDICES**

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)



[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)