

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**COMPORTAMENTO DA CULTURA DA SOJA EM FUNÇÃO DE RESÍDUOS  
CULTURAIS, MOBILIZAÇÃO DO SOLO E IRRIGAÇÃO, EM SEMEADURA  
DIRETA**

ANTÔNIO ALEXANDRE PETERSEN XAVIER  
Dissertação de Mestrado

Porto Alegre, 2005

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**COMPORTAMENTO DA CULTURA DA SOJA EM FUNÇÃO DE RESÍDUOS  
CULTURAIS, MOBILIZAÇÃO DO SOLO E IRRIGAÇÃO, EM SEMEADURA  
DIRETA**

ANTÔNIO ALEXANDRE PETERSEN XAVIER  
Engenheiro Agrônomo (UFRGS)

Dissertação apresentada como  
um dos requisitos à obtenção do  
Grau de Mestre em Ciência do Solo

Porto Alegre (RS), Brasil  
Julho de 2005

## **AGRADECIMENTOS**

Ao professor e amigo Renato Levien, por ser o melhor orientador que alguém poderia desejar, pela amizade, companheirismo, e pela disposição em auxiliar quem o procura, indistintamente.

Ao professor Carlos Ricardo Trein, pelo convívio, por acreditar em minha capacidade de produção, e também por seus inestimáveis ensinamentos pessoais e profissionais.

Ao professor Neroli Pedro Cogo, pela amizade, pelos conselhos sábios e preciosos ensinamentos.

Aos professores Egon Klamt, João Mielniczuk e Renato Albano Petersen, pelo exemplo de vida profissional e pessoal, e pelo crédito depositado em mim, ao fornecerem recomendação para o Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, desta Instituição.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, ao Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e à própria Universidade Federal do Rio Grande do Sul, os quais me proporcionaram um ensino de alta qualidade.

À sociedade brasileira pelo apoio ao ensino público, gratuito, e de qualidade, possibilitando a minha formação profissional.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudo.

Ao projeto CNPq-PRONEX-SOLOS, pelos recursos financeiros, e aos seus funcionários, em especial ao Técnico Agrícola Agostinho de Oliveira, pela inestimável colaboração durante o período de experimentação a campo.

À Direção da Estação Experimental Agronômica, pelo auxílio com maquinários, equipamentos e estrutura física disponibilizados.

Aos colegas da pós-graduação das áreas de mecanização agrícola e conservação do solo, Carla Cepik, Josué Beutler e Leandro Volk pela amizade, companheirismo, e momentos hiláricos, e às vezes estressantes, que passamos juntos.

Aos colegas, Fabiano Daniel de Bona, Fabíola Lopes, Jonatas Bredow Alves, Josiléia Acordi Zanatta, Leandro Bortolon, Luis de França da Silva Neto, Luis Toneloto Saraiva, Márcio do Sacramento Wally, Márcio

Henrique Lauschner, Samuel Ribeiro Figueiredo e Telmo Francisco Manfron Ojeda, pela amizade, cumplicidade e apoio sempre sincero.

Aos meus irmãos, André Antônio Petersen Xavier, Antônio Carlos Petersen Xavier e à minha cunhada Denise Elnecave, por estarem sempre presentes na minha vida.

À minha irmã e madrinha Selma Regina Xavier dos Santos, e ao meu cunhado José Antônio dos Santos, pelo carinho e apoio em minhas decisões e conquistas.

Ao meu irmão César Ricardo Petersen Xavier (in memorian), por me mostrar que somente no dicionário o sucesso vem antes do trabalho, e que o ser humano pode evoluir infinitamente.

À minha mãe Maria Regina Petersen Xavier, pela coragem e luta na criação de seus filhos, com amor e carinho, e pelo sacrifício em proporcionar condições para que todos os filhos pudessem estudar e cursar uma faculdade.

Ao meu pai, Ruy Centeno Xavier (in memorian), por ter me dado a vida, por me ensinar que o melhor investimento é o estudo, e pelos valores transmitidos na minha infância.

À Juliana Gomes, minha namorada, que me apoiou sempre, principalmente nas horas difíceis, quando a maioria das pessoas se afastam.

À todos aqueles que não foram mencionados, mas que de alguma forma me auxiliaram a concluir esta etapa de minha vida profissional.

Muito obrigado.

# COMPORTAMENTO DA CULTURA DA SOJA EM FUNÇÃO DE RESÍDUOS CULTURAIS, MOBILIZAÇÃO DO SOLO E IRRIGAÇÃO, EM SEMEADURA DIRETA.<sup>1</sup>

Autor: Antônio Alexandre Petersen Xavier

Orientador: Prof. Renato Levien

## RESUMO

A semeadura direta baseia-se na mobilização do solo restrita às linhas de semeadura, mantendo, sempre que possível, sua superfície coberta por palha e/ou vegetação. Exige um enfoque sistêmico de todo o processo de produção agrícola e conhecimento das inter-relações solo, máquinas e plantas, em rotação cultural, fundamento primário do sistema. O presente trabalho objetivou obter informações sobre desempenho do conjunto trator-semeadora e avaliar a produtividade da cultura da soja, implantada em semeadura direta sobre resíduos de aveia preta. A pesquisa foi conduzida na Estação Experimental Agronômica-UFRGS, no município de Eldorado do Sul, RS, sobre Argissolo Vermelho distrófico típico e conduzida em dois experimentos: com e sem irrigação. Após a colheita da aveia, seus resíduos foram redistribuídos nas parcelas nas doses de 0; 2; 3; 4; 5 e 6 Mg ha<sup>-1</sup>, que constituíram os tratamentos principais (7 m x 5 m). Estes foram subdivididos (2,5 m x 7 m), em função de profundidades de atuação dos sulcadores de adubo da semeadora-adubadora (0,064 m e 0,100 m). O delineamento foi o de blocos casualizados, com três repetições. Avaliou-se parâmetros de solo, das máquinas e da cultura de soja. Na operação de semeadura da soja, a patinação dos rodados do trator aumentou com a profundidade de atuação do sulcador de adubo e com a dose de resíduo de aveia sobre o solo. Os valores de força de tração e os de força de tração relacionados à área de solo mobilizada no sulco pelo sulcador de adubo, foram maiores na profundidade de 0,100 m, sem diferença em função das doses de resíduo. Nos locais em que houve tráfego controlado dos rodados do trator, a densidade e a resistência do solo à penetração foram maiores do que naqueles sem tráfego, implicando, também, maiores valores de força de tração e força de tração específica medidos no sulcador de adubo da semeadora. A estatura das plantas, a produtividade de grãos e a massa da parte aérea da cultura da soja foram influenciadas positivamente pela irrigação, mas não pelas doses de resíduo. Na ausência de irrigação, verificou-se maior produtividade de grãos e de massa da parte aérea da cultura da soja, quando o sulcador de adubo operou a 0,100 m. O número de legumes por planta e a massa de 100 grãos de soja foram maiores no experimento irrigado, sem influência das doses de resíduo e das profundidades do sulcador. No experimento irrigado foi obtida maior massa de grãos por planta e esta foi negativamente influenciada pelo aumento das doses de resíduo de aveia sobre o solo. Independentemente do uso da irrigação, a massa de resíduos culturais sobre o solo, à época da colheita da soja, foi menor nas parcelas com maior profundidade de atuação do sulcador.

---

<sup>1</sup>Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo. PPG em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, UFRGS. Porto Alegre. (100p.) Julho de 2005. Trabalho realizado com apoio financeiro do CNPq-PRONEX-SOLOS.

## **BEHAVIOR OF THE SOYBEAN CULTURE IN FUNCTION OF CROP RESIDUES, SOIL MOBILIZATION AND IRRIGATION, IN DIRECT SOWING. <sup>2</sup>**

Author: Antônio Alexandre Petersen Xavier

Adviser: Prof. Renato Levien

### **ABSTRACT**

Direct drilling mobilizes soil at sowing lines only, maintaining, when ever possible, soil surface between the lines covered with residues or cover plants. It requires a systemathical approach ensuring that soil-plant-machine relationship in crop rotation shall be taken into account. Aiming the increase of knowledge about tractor-drill performance and soybean grain yield when directly drilled on black oats cover-crop, this work was developed. Research was carried out at EEA-UFRGS (Eldorado do Sul) on an Oxissoil using irrigation (or not). After harvesting oats, the residues were replaced on plots to show 0;2;3;4;5;and 6 Mg ha<sup>-1</sup>, as main trataments (7 x 5 m). The plots were splitted (7 x 2,5 m) due to the working depth of fertilizer furrow openers (0,064 m and 0,100 m). Experimental design was randomized blocks, with three replicates. Soil plant and machine data were collected. Drilling soybeans, tractor slipage increased as furrow openers worked deeper and as residue cover grew bigger. Draft requirements were higher when working at 0,100 m, irrespective to the amount of soil cover residues. Draft behind tractor tracks was higher, as were soil density, soil resistance to penetrometer and specific draft. Irrigation proved highly valuable to plant hight, grain yield and above soil biomass. These parameters were not related by residues. Under no irrigation, higher grain yield and above ground biomass were attained when the furrow openers were driven at 0,100 m depth. Soybean legumes and 100 grain mass were higher with irrigation, but these was no influence of soil cover residues or depth of furrow.Under irrigation, the highest mass of grain was attained, but it was lower as residues increased. Irrespective of irrigation, cover crops on soil at soybean harvesting was lowest at plots where furrow openers worked deepest.

---

<sup>2</sup>M.Sc. Dissertation in Soil Science. PPG em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, UFRGS. Porto Alegre. (100p.) July, 2005. Financial support by CNPq-PRONEX-SOLOS .

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	3
2.1 Semeadura direta .....	3
2.1.1 Relação com outros preparos de solo e cobertura .....	4
2.1.2 Mecanização do sistema.....	7
2.1.3 Patinagem das rodas tratórias e força de tração .....	9
2.1.4 Mobilização do solo .....	11
2.1.5 Compactação do solo e resistência do solo à penetração.....	12
2.1.6 Importância das raízes no sistema .....	13
2.1.7 Importância do controle do tráfego .....	14
2.2 A cultura da soja .....	16
2.2.1 Influência da compactação .....	16
2.2.2 Relação entre preparo do solo, resíduos culturais e invasoras.....	17
2.2.3 Irrigação, componentes de rendimento, práticas de manejo e produtividade.....	19
2.2.4 Produção de matéria seca de raízes, parte aérea e grãos .....	22
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.1 Localização e características climáticas da região da área experimental.....	25
3.2 Histórico de uso da área experimental.....	25
3.3 Equipamentos utilizados na instalação e condução do experimento .....	28
3.4 Cultura de inverno.....	30
3.5 Cultura de verão .....	31
3.6 Tratamentos.....	32
3.7 Avaliações e amostragens .....	34
3.7.1 Durante e após a semeadura da cultura da soja .....	34
3.7.1.1 Atributos físicos do solo: resistência à penetração do solo e densidade do solo .....	34
3.7.1.2 Porosidade total, macroporosidade e microporosidade do solo.....	34
3.7.1.3 Patinagem das rodas tratórias .....	35
3.7.1.4 Profundidade máxima média do sulco produzido pela haste sulcadora de adubo.....	36

3.7.1.5 Área da seção transversal do sulco mobilizado pelo sulcador e volume de solo .....	36
3.7.1.6 Força de tração na haste sulcadora de adubo da semeadora-adubadora .....	37
3.7.1.7 Força de tração específica na haste sulcadora de adubo da semeadora-adubadora .....	38
3.7.1.8 População de plantas de soja .....	38
3.7.1.9 Plantas invasoras na cultura da soja .....	38
3.7.1.10 Massa seca das raízes de soja .....	38
3.7.1.11 Estatura das plantas de soja .....	39
3.7.1.12 Massa seca de resíduos culturais após a colheita da soja .....	39
3.7.1.13 Produtividade de grãos e de massa seca da parte aérea de soja .....	40
3.7.1.13 Componentes de rendimento da soja .....	40
3.8 Delineamento experimental e análise estatística dos dados .....	40
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	42
4.1 Atributos físicos do solo .....	42
4.2 Patinagem das rodas tratórias do trator .....	43
4.3 Profundidade máxima do sulco de semeadura .....	45
4.4 Área da seção dos sulcos de semeadura .....	46
4.5 Força de tração na haste sulcadora de adubo .....	47
4.6 Força de tração específica .....	50
4.7 Número de plantas de soja aos 21 dias após a semeadura .....	52
4.8 Estatura de plantas de soja aos 45 dias após a semeadura .....	53
4.9 Estatura de plantas de soja aos 90 dias após a semeadura .....	55
4.10 Produtividade de grãos de soja .....	56
4.11 Massa seca da parte aérea da soja .....	61
4.12 Massa seca de raízes de soja na época da colheita .....	63
4.13 Produção de biomassa da cultura da soja .....	66
4.14 Índice de colheita aparente da cultura da soja .....	69
4.15 Componentes de rendimento da cultura da soja .....	70
4.16 Massa seca total de resíduos culturais sobre o solo no momento da colheita .....	76
5. CONCLUSÕES .....	78



6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	80
7. APÊNDICES .....	97

## RELAÇÃO DE TABELAS

1. Análise química de um Argissolo Vermelho distrófico típico nas profundidades de 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m, antes da instalação do experimento.....	26
2. Sucessão de culturas implantadas na área experimental.....	27
3. Atributos físicos do solo da área experimental, nos locais sem tráfego e com tráfego, após 4 anos sob uso agrícola em solo originalmente de campo nativo.....	43
4. Valores de profundidade máxima média efetiva dos sulcos (cm) na operação de semeadura da soja, nos tratamentos avaliados.....	46
5. Valores médios de área da seção dos sulcos (cm <sup>2</sup> ) na operação de semeadura da soja, nos tratamentos avaliados. ....	47
6. Valores médios de força de tração (N) na haste sulcadora de adubo a profundidade de 0,064 m, na operação de semeadura da soja, nos tratamentos avaliados.....	48
7. Valores médios de força de tração (N) na haste sulcadora de adubo a profundidade de 0,100 m, na operação de semeadura da soja, nos tratamentos avaliados.....	49
8. Valores médios de força de tração (N) na haste sulcadora de adubo na operação de semeadura da soja, nos tratamentos avaliados.....	50
9. Valores médios de força de tração específica (N cm <sup>-2</sup> ) na haste sulcadora de adubo a profundidade de 0,064 m, na operação de semeadura da soja, nos tratamentos avaliados.. ....	50
10. Valores médios de força de tração específica (N cm <sup>-2</sup> ) na haste sulcadora de adubo a profundidade de 0,100 m, na operação de semeadura da soja, nos tratamentos avaliados.....	51
11. Valores médios de força de tração específica (N cm <sup>-2</sup> ) na haste sulcadora de adubo, na operação de semeadura da soja, nos tratamentos avaliados. ....	51
12. Número de plantas de soja por hectare, aos 21 dias após a semeadura, no experimento irrigado, nos tratamentos avaliados. ....	53

13. Número de plantas de soja por hectare, aos 21 dias após a semeadura, no experimento não irrigado, nos tratamentos avaliados.....	53
14. Estatura média de plantas de soja (m) aos 45 dias após a semeadura, no experimento irrigado, nos tratamentos avaliados.....	54
15. Estatura média de plantas de soja (m) aos 45 dias após a semeadura, no experimento não irrigado, nos tratamentos avaliados.....	54
16. Estatura média de plantas de soja (m) aos 90 dias após a semeadura, no experimento irrigado, nos tratamentos avaliados.....	56
17. Estatura média de plantas de soja (m) aos 90 dias após a semeadura, no experimento não irrigado, nos tratamentos avaliados.....	56
18. Produtividade média de grãos de soja ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ), no experimento irrigado, nos tratamentos avaliados.....	60
19. Produtividade média de grãos de soja ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ), no experimento não irrigado, nos tratamentos avaliados. ....	60
20. Número de plantas de soja por hectare, na época da colheita, no experimento irrigado, nos tratamentos avaliados. ....	61
21. Número de plantas de soja por hectare, na época da colheita, no experimento não irrigado, nos tratamentos avaliados. ....	61
22. Valores médios de matéria seca da parte aérea de soja ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ), no experimento irrigado, nos tratamentos avaliados. ....	63
23. Valores médios de matéria seca da parte aérea de soja ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ), no experimento não irrigado, nos tratamentos avaliados. ....	63
24. Valores médios de matéria seca de raízes de soja ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ), amostradas na profundidade de 0,00 a 0,12 m, no experimento irrigado, nos tratamentos avaliados.....	64
25. Valores médios de matéria seca de raízes de soja ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ), amostradas na profundidade de 0,00 a 0,12 m, no experimento não irrigado, nos tratamentos avaliados.....	64
26. Valores médios de matéria seca ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) de raízes, de parte aérea e de grãos de soja, no experimento irrigado, nos tratamentos avaliados. ....	67

27. Valores médios de matéria seca ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) de raízes, da parte aérea e de grãos de soja, no experimento não irrigado, nos tratamentos avaliados. ....	67
28. Valores médios do índice de colheita aparente (%), no momento da colheita da soja (estádio R8) no experimento irrigado, nos tratamentos avaliados. ....	70
29. Valores médios do índice de colheita aparente (%), no momento da colheita da soja (estádio R8) no experimento não irrigado, nos tratamentos avaliados. ....	70
30. Número médio de legumes por planta de soja, no experimento irrigado, nos tratamentos avaliados.....	72
31. Número médio de legumes por planta de soja, no experimento não irrigado, nos tratamentos avaliados.....	72
32. Número médio de grãos de soja por legume, no experimento irrigado, nos tratamentos avaliados.....	73
33. Número médio de grãos de soja por legume, no experimento não irrigado, nos tratamentos avaliados.....	73
34. Número médio de grãos por planta de soja, no experimento irrigado, nos tratamentos avaliados.....	74
35. Número médio de grãos por planta de soja, no experimento não irrigado, nos tratamentos avaliados.....	74
36. Produção média de grãos (g) por planta de soja, no experimento irrigado, nos tratamentos avaliados.....	75
37. Produção média de grãos (g) por planta de soja, no experimento não irrigado, nos tratamentos avaliados.....	75
38. Valores médios de matéria seca total de resíduos sobre o solo ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) imediatamente antes da colheita da soja, no experimento irrigado, nos tratamentos avaliados.....	77
39. Valores médios de matéria seca total de resíduos sobre o solo ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) imediatamente antes da colheita da soja, no experimento não irrigado, nos tratamentos avaliados.....	77

## RELAÇÃO DE FIGURAS

1. Infestação de plantas invasoras (%), nas parcelas com diferentes doses de resíduos ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ), após a semeadura (V1) e no momento da colheita (R8), nos experimentos irrigado e não irrigado.....	32
2. Croqui de uma seção transversal da área experimental, com as regiões de tráfegos dos rodados do trator e da colhedora..	33
3. Vista frontal do perfilômetro .....	37
4. Retas de regressão linear para os valores de patinação em função das doses de resíduos, com o sulcador de adubo atuando à 0,064 m.....	44
5. Retas de regressão linear para os valores de patinação em função das doses de resíduos, com o sulcador de adubo atuando à 0,100 m.....	45
6. Valores médios de matéria seca de raízes de soja, em função de diferentes profundidades efetivas de atuação do sulcador de adubo e profundidades de amostragem, nos experimentos irrigado e não irrigado.....	66
7. Valores médios de matéria seca de parte aérea, grãos e raízes de soja ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) em função de diferentes profundidades efetivas de atuação do sulcador de adubo, nos experimentos irrigado e não irrigado.....	68

## 1. INTRODUÇÃO

A semeadura direta representa uma revolução na agricultura, pois se baseia na substituição da prática de preparo convencional do solo, aperfeiçoada durante muitos séculos, por uma outra, onde a mobilização do solo está restrita às linhas de semeadura, mantendo sempre que possível a superfície do solo coberta por resíduos culturais (palha) e/ou vegetação. Exige um enfoque sistêmico de todo o processo de produção agrícola, quando a pesquisa e o ensino ainda estão parcialmente organizados numa base temática, cartesiana. Assim, a semeadura direta deve ser vista como uma evolução fundamental na tecnologia de produção agropecuária, e não simplesmente como uma nova tecnologia, pois representa uma nova filosofia, com novos valores básicos, que constituem um sistema de agricultura sustentável, agregando novas dimensões ao sistema de produção agrícola.

Desta forma, questionamentos sobre a técnica de semeadura direta são freqüentes, principalmente quando se inter-relacionam solo, máquinas e plantas em rotação cultural. Diversos estudos vêm sendo realizados quanto à profundidade mais recomendável para colocação do fertilizante na linha de semeadura, após os primeiros anos de implantação desta técnica, e quanto ao sulco produzido pela semeadora-adubadora, em termos de profundidade efetiva e de falha.

A manutenção de resíduos culturais sobre superfície do solo protege o mesmo contra o impacto direto das gotas da chuva, reduzindo as perdas por erosão hídrica e/ou eólica, mas pode comprometer a germinação e o desenvolvimento de plantas, bem como afetar o desempenho do conjunto mecanizado composto por trator e semeadora-adubadora. Isto porque uma quantidade demasiada de palha na superfície do solo pode prejudicar a operação de semeadura, pelo excesso de patinagem do trator, variação nas

profundidades de sulcamento e de semeadura, e por possíveis embuchamentos nos órgãos sulcadores da semeadora-adubadora. Em contraposição, uma baixa quantidade de palha na superfície do solo pode ser ineficiente para a sua proteção quanto à erosão hídrica e/ou eólica. Questionamentos relacionados à quantidade de resíduos culturais adequada para uma boa cobertura do solo, sem afetar a germinação e o desenvolvimento da cultura implantada, vêm sendo feitos, e , até agora, poucas respostas estão claras.

A presente pesquisa teve como objetivos específicos: a) verificar o comportamento da cultura da soja em semeadura direta, em termos de emergência e desenvolvimento inicial de plantas, produtividade de grãos e produção de matéria seca da parte aérea, raízes, com e sem irrigação, após 5 cultivos em sucessão (aveia preta, soja, aveia preta, milho e aveia preta) partindo-se de campo nativo; b) determinar o esforço de tração na haste sulcadora de adubo da semeadora-adubadora, bem como o grau de mobilização do solo, devido a sua profundidade de atuação, doses de resíduos sobre o solo, e operação em zonas com e sem tráfego de rodados do trator, na área cultivada, após 5 cultivos em sucessão; c) verificar o efeito da profundidade de atuação do sulcador da semeadora-adubadora e da irrigação em relação à decomposição dos resíduos das culturas anteriores durante o período de desenvolvimento da soja; d) verificar o efeito das doses de resíduo sobre a superfície do solo quanto a conservação de água no solo para a soja, nos tratamentos sem irrigação; e) verificar o desempenho do conjunto mecanizado durante a operação de semeadura direta; f) fornecer subsídios sobre a cultura da soja em semeadura direta sobre um solo Argissolo Vermelho distrófico típico da Depressão Central do Rio Grande do Sul.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Semeadura direta**

A semeadura direta ou plantio direto podem ser consideradas as formas mais extremas de preparo mínimo (Baumer & Bakermans, 1973). Consiste em um sistema de semeadura, no qual a semente é depositada diretamente em solo minimamente preparado. Os resíduos vegetais da cultura anterior permanecem na superfície do solo, e as plantas invasoras são controladas, quando necessário, com o uso de herbicidas. Fundamenta-se na substituição gradativa de processos mecânico-químicos por processos biológico-culturais de manejo do solo, e na maior eficiência econômica decorrente da redução de gastos com insumos, energia e controle da erosão (Derpsch et al., 1991).

Especialmente adequada para regiões tropicais devido à necessidade de manter o solo protegido do sol e da chuva, a semeadura direta é uma prática conservacionista, (Séguy et al., 1996), e efetua-la com precisão é um importante fator na eficiência do uso da terra, pois todo o processo produtivo é dependente dos resultados obtidos na semeadura (Oliveira et al, 2000).

Ainda que implique de imediato em melhores produtividades das culturas, o sistema de preparo convencional, com aração e gradagens, não é necessariamente benéfico para o solo. A técnica de semeadura direta reduz a médio e longo prazo os custos de produção, devido ao menor uso de fertilizantes, agrotóxicos e defensivos agrícolas, número de implementos e de mão-de-obra (Cury, 2000) e reduz ainda, o consumo de combustível, já que são eliminadas as operações de preparo do solo (Levien , 1999).



Alguns aspectos quanto à adubação ainda estão sendo estudados atualmente, especialmente, localização da profundidade de deposição, aplicação à lanço ou em linhas, entre outras pesquisas (Cepik et al., 2005).

Segundo Sá (1995), nas décadas de 70 e 80, o questionamento ao manejo da fertilidade do solo na semeadura direta foi intenso, em diversos segmentos da pesquisa, principalmente sobre a correção da acidez e o modo de aplicação de fertilizantes.

Além disso, tem sido observado no solo em semeadura direta um aumento no conteúdo de água em relação ao plantio convencional (Salton & Mielniczuk, 1995), na condutividade hidráulica saturada (Sidiras et al., 1984) e na estabilidade de agregados do solo (Carpenedo & Mielniczuk, 1990), bem como uma diminuição das temperaturas máximas do solo (Bragagnollo & Mielniczuk, 1990; Levien, 1999).

Sidiras et al (1983) dizem que quando se considera a capacidade de armazenagem de água no solo, a maior porcentagem de macroporos no preparo convencional é uma condição desfavorável em relação à semeadura direta, pois possibilita maiores perdas de água por evaporação.

### **2.1.1 Relação com outros preparos de solo e cobertura**

As culturas influenciam a cobertura do solo através do crescimento de plantas ou dos resíduos deixados na superfície, após terem completado seu ciclo vegetativo ou sido colhidas. Com o desenvolvimento das culturas, aumenta a porcentagem de cobertura do solo e esta varia em função do tipo de planta, densidade de semeadura, espaçamento e fertilidade do solo (Hudson, 1981).

A manutenção de cobertura sobre o solo, o incremento de matéria orgânica e o mínimo preparo possível preservam a estrutura superficial do solo e mantém altas as taxas de infiltração de água, devido ao aumento da detenção superficial e a não formação de selamento pelo impacto das gotas de chuva (Derpsch et al., 1986; Levien et al., 1990).

Os tipos de preparo afetam sobremaneira a cobertura do solo, sendo influenciados pela quantidade inicial disponível e forma como estes são manejados. Na medida em que aumenta a proporção de superfície do solo

preparada, diminui a cobertura, em massa e porcentagem (Conte et al., 2003). A semi-incorporação de uma mesma quantidade de um dado resíduo de cultura é menos eficaz em controlar a erosão do que se estivesse na superfície. Porém, incorporar resíduos é melhor do que removê-los ou queimá-los (Wischmeier, 1973).

A cobertura do solo proporcionada pelos resíduos culturais deixados na superfície tem ação direta e efetiva na redução da erosão hídrica, em virtude da dissipação de energia cinética das gotas da chuva, a qual diminui a desagregação das partículas de solo e o selamento superficial e aumenta a infiltração de água. Ela atua ainda na redução da velocidade do escoamento superficial e, conseqüentemente, da capacidade erosiva da enxurrada (Cogo, 1981). A porcentagem de cobertura do solo proporcionada pelas restegas das culturas é fator fundamental na redução das perdas de solo por erosão hídrica (Sloneker & Moldenhauer, 1977), obtendo-se boa eficácia já com 30 % de cobertura (Lopes et al., 1987).

A adequação e a necessidade da adoção da semeadura direta em um país continental como o Brasil, situado nas regiões tropical e subtropical do globo terrestre, sujeitas a chuvas intensas, temperaturas elevadas e altas taxas de oxidação da matéria orgânica, é inquestionável. O preparo convencional do solo, com revolvimento de toda a sua camada arável e enterrio das restegas e/ou da vegetação presente na superfície, leva, rapidamente, a sua degradação física, química e biológica, com reflexos imediatos na produtividade dos cultivos e nos custos da lavoura. Os custos indiretos, representados pelas perdas de solo, perdas de nutrientes e outros insumos, replantios, assoreamento de rios, contaminação de fontes d'água, e manutenção de estradas, também podem ser significativos (Levien et al., 2004b).

Ros et al. (1999) afirmaram que o sucesso da semeadura direta está relacionado com o máximo possível de cobertura do solo, e verificaram que no sistema de rotação de culturas com aveia/milho/trigo/soja existe uma época crítica, com relação à cobertura do solo, que é após a colheita do milho. Apesar da cultura do milho produzir uma grande quantidade de palha, o tamanho e a forma de distribuição desta palha sobre a superfície não

proporciona uma boa cobertura, o que é uma condição de colheita em função do distribuidor de palha da colhedora.

Avaliando a distribuição de resíduos na superfície do solo durante a colheita mecanizada, Levien et al. (2003) constataram que mesmo a melhor distribuição dos resíduos resultou em faixas com até 1,0 m sem resíduos entre as passagens da colhedora. A distribuição variou entre 60 e 80% da largura de corte. Já a massa de resíduos variou entre 2,0 e 12 Mg ha<sup>-1</sup> na largura de corte da plataforma, o que pode determinar diferenças quanto à ciclagem de nutrientes, infestação de invasoras e regulagens dos órgãos ativos de máquinas de preparo ou semeadura do solo. O uso de picador de palhas reduziu o tamanho dos fragmentos, porém 20% da massa total apresentava tamanho maior do que 100 mm, o que pode causar diferentes susceptibilidades à decomposição dos mesmos na lavoura.

Bertol et al. (1998) avaliaram a persistência dos resíduos de milho e aveia sobre a superfície do solo, em semeadura direta. Verificaram que, ao final do experimento, a massa de resíduos de milho era superior à dos resíduos de aveia. A maior quantidade de resíduos de milho existente no início do experimento, em relação aos de aveia, foi determinante para este resultado, apesar da taxa média de decomposição do resíduo cultural de milho ter sido maior que a da aveia.

Em preparos convencional e escarificação (preparo reduzido), com cobertura de aveia preta dessecada, manejada com rolo faca, manejada com triturador de palhas tratorizado, e em solo mantido sem cultura, Levien et al. (2002) verificaram que as condições de cobertura do solo não tiveram influência sobre os parâmetros operacionais e energéticos medidos nos preparos de solo. As gradagens reduziram a rugosidade solo. O uso de rolo destorroador, na operação de escarificação, provocou o mesmo grau de destorroamento do solo do que as duas gradagens efetuadas após a aração. Em relação ao preparo convencional do solo, o reduzido (escarificação) demandou 21% menos potência e 52% menos combustível, por área trabalhada.

Nagaoka et al. (2002a), pesquisaram a diferença de consumo de combustível de um trator, em relação ao preparo convencional, escarificação e semeadura direta, para implantação da cultura de aveia. Concluíram que, na

semeadura direta, o consumo de combustível foi menor, seguido da escarificação, e, com maior consumo, o preparo convencional.

Outro trabalho realizado por Nagaoka et al. (2002b), com o objetivo avaliar o custo da operação de semeadura de aveia preta em diferentes sistemas de manejo do solo (convencional, aração e enxada rotativa, semeadura direta e escarificação) demonstrou que a semeadura direta foi o método mais viável, por apresentar menor custo e com uma produtividade de matéria seca superior aos demais tratamentos.

Furlani et al. (2004) analisaram métodos de preparo convencional, escarificação (escarificador com rolo destorroador), e semeadura direta do solo, em cobertura do solo com aveia-preta e nabo forrageiro, manejados com rolo-faca, triturador de palhas, herbicida, e solo em pousio, por três anos consecutivos. Os valores de força de tração na barra, patinagem dos rodados motrizes e consumo de combustível foram maiores no preparo com escarificador em relação ao preparo convencional e semeadura direta. A capacidade de campo efetiva foi maior na semeadura direta em relação aos outros tratamentos. Os manejos nas coberturas vegetais e o solo em pousio não influenciaram em nenhuma das variáveis citadas anteriormente.

### **2.1.2 Mecanização do sistema**

Um dos grandes desafios da agricultura moderna, mecanizada, é a compatibilização entre as variáveis de manejo do solo, de mecanização agrícola, e de produção (Cogo et al., 2003).

A escolha de um sistema de cultivo é complexa, e varia conforme a região, tipo de solo, condições climáticas, entre outras. Assim, métodos de preparo do solo e sistemas de manejo da cobertura vegetal tornam-se ferramentas importantes no auxílio da conservação do solo. O sistema de semeadura direta é um método que visa maior conservação do solo e diminuição do tráfego de máquinas, tendo como princípio, a semeadura diretamente em solo não revolvido (Furlani et al., 2004).

Para consolidar a adoção desse sistema, há necessidade de solucionar problemas por ocasião da sua instalação, como, por exemplo, os de compactação do solo, baixos teores de matéria orgânica, baixa fertilidade,

presença de ervas daninhas, e aumento do consumo energético em função de uma seleção inadequada das máquinas existentes (Casão Junior et al., 2000).

Um dos problemas iniciais enfrentados na adoção de preparos conservacionistas com semeadoras-adubadoras, que utilizam hastes para a abertura de sulcos, era o embuchamento causado pelos restos culturais dispostos sobre a superfície do solo, resolvido pelo emprego de discos de corte de resíduos à frente das hastes (Derpsch et al., 1986).

Em semeadura direta, o revolvimento do solo deve ser mínimo. As máquinas semeadoras devem cortar a palha sobre a superfície do solo e abrir um sulco para depositar o fertilizante na dosagem, posição e profundidade adequadas. Este sulco deve ser fechado e novamente aberto para a deposição das sementes (Casão Junior et al., 2004).

Para efetuar corretamente suas funções, é necessário que os elementos sulcadores não estejam muito desgastados, pois desta maneira tendem a abrir sulcos com profundidade e formato irregulares (Machado et al., 1996).

Após sua deposição, as sementes devem permanecer na profundidade desejada, a distâncias uniformes, e em contato íntimo com o solo, para que absorvam água com facilidade. Devem, ainda, estar recobertas com solo, e este, com palha sobre o sulco, pois o solo descoberto aquece e perde água mais rapidamente, e pode promover selamento superficial, erosão, aumento na ocorrência de plantas daninhas, entre outros problemas. (Casão Junior et al., 2004).

Nos estudos do IAPAR com avaliações de 60 semeadoras de precisão, as máquinas que não possuíam aterradores reduziram de 16% a 48% a cobertura original com palha, e as que possuíam este componente, reduziram de 10% a 24% (Casão Junior et al., 2004).

Como o sucesso de implantação de uma cultura pode ser garantido por uma semeadura bem feita, as rodas compactadoras da semeadora-adubadora devem melhorar o contato solo-semente para promover boa emergência das plântulas. Estudando a influência de rodas compactadoras, profundidades de semeadura e níveis de carga sobre a roda compactadora na germinação e no desenvolvimento da cultura do milho, em Latossolo Vermelho

distrófico, Silva et al. (2004) concluíram que a profundidade de semeadura foi o fator que mais afetou o desenvolvimento inicial da cultura do milho.

Silva (2000) concluiu que a velocidade de deslocamento não influi na uniformidade de distribuição de sementes das culturas de milho e soja. Klein et al. (2002) apresentaram resultados semelhantes, e afirmaram que o aumento de velocidade não afetou o percentual de espaçamentos duplos e falhos, nem a produtividade da cultura da soja. Entretanto, Delafosse (1986) trabalhando com semeadoras Apache, relatou que a velocidade na operação de semeadura foi um dos parâmetros que mais influenciou no desempenho das semeadoras, especialmente na distribuição longitudinal de sementes no sulco de semeadura, e, por sua vez, na produtividade das culturas anuais, devido ao tipo de dosador utilizado.

Um outro fator relacionado ao uso e desempenho de máquinas agrícolas na semeadura direta é a influência de seus rodados sobre o solo. A utilização do trator numa propriedade é variada, devendo-se considerar que tipos de pneus e pressões de inflação inadequadas podem induzir a compactação do solo, a emissão de gases de efeito estufa, e o aumento de consumo de energia durante a execução do trabalho (Mazetto et al., 2004).

### **2.1.3 Patinagem das rodas tratórias e força de tração**

Para que ocorra tração em solos agrícolas é necessário que ocorra patinagem. Porém, ultrapassando certo limite, pode ocorrer perda de aderência dos rodados com o solo e redução de tração. Vários fatores podem influenciar na patinagem de rodados de tratores, como tipos de pneus e de bandas de rodagem, pressão de inflação e carga sobre os mesmos, e condições de solo, como textura, declividade, teor de água, e tipo, quantidade e forma de distribuição de resíduos culturais e/ou vegetação sobre a superfície do solo (Lanças, 1997). Dentro de cada condição específica, diferentes exigências em esforço de tração podem determinar maior ou menor patinagem. Em semeadoras-adubadoras, o maior esforço de tração pode ocorrer pela maior profundidade de atuação dos discos de corte e dos sulcadores para adubação e semeadura (AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS, 1996).

A AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS (1989) recomenda, para obtenção de máxima eficiência de tração, patinagem de 8% a 10% em solos não mobilizados, e de 11% a 13% em solos mobilizados.

Cepik et al. (2002b), avaliaram a patinagem dos rodados traseiros de um trator, com TDA, tracionando uma semeadora-adubadora montada de cinco linhas, em duas velocidades de deslocamento, duas profundidades de atuação do sulcador facão e em três condições de umidade do solo (seco, friável e úmido). Constataram diferença significativa na patinagem dos rodados de tração do trator em função do aumento da profundidade de trabalho do sulcador. A velocidade de deslocamento influenciou a patinagem na condição de seco e friável, com maiores valores na maior velocidade testada.

Fey et al. (2002), avaliaram a patinagem dos rodados tratórios de um trator 4x2 tracionando uma semeadora-adubadora de semeadura direta, em três tipos de resíduos culturais sobre o solo (aveia, nabo e milho). Concluíram que a patinagem dos rodados do trator foi inferior na área com milho (6,7%), comparada com a de nabo (8,6%) e de aveia (10,0%), devido a menor cobertura do solo por resíduos culturais de milho.

Nagaoka et al. (2002a), avaliaram a patinagem dos rodados tratórios de um trator 4x2 tracionando uma semeadora adubadora para semeadura de aveia preta, sobre três sistemas de manejo do solo (semeadura direta, escarificação e preparo convencional), à velocidade de deslocamento de  $5,0 \text{ km h}^{-1}$ . Como resultados encontraram que a patinagem foi influenciada pelo sistema de preparo do solo, com maiores valores no preparo convencional (12,3%), intermediários na escarificação (10,2%) e inferiores na semeadura direta (5,9%).

Em um estudo sobre o efeito do disco de corte de resíduos quando utilizado o sulcador tipo facão, Levien et al. (2004a) verificaram que o disco de corte de resíduos, operando a 0,05 m de profundidade, reduziu o embuchamento pela diminuição do acúmulo de resíduos nas hastes, e promoveu uma redução de 50% no esforço de tração medido na haste sulcadora.

### 2.1.4 Mobilização do solo

Nas semeadoras-adubadoras, a maioria dos sulcadores é empregada para assegurar a deposição de fertilizantes e de sementes no solo, promovendo condições para sua germinação e desenvolvimento. Portella, (1983) e Balastreire (1987) mencionam que, no Brasil, são empregados, basicamente, três tipos de sulcadores: facas (facões), discos simples e discos duplos, sendo o sistema de disco simples pouco utilizado.

Mecanismos sulcadores e rodas compactadoras das semeadora-adubadoras podem alterar o condicionamento físico do solo e a produção das culturas sob semeadura direta. Mello et al. (2002), em um ensaio em Latossolo Vermelho distrófico típico argiloso, verificaram que o mecanismo tipo haste sulcadora apresentou maior capacidade de romper o solo na linha de semeadura, provocando reduções na sua densidade, resistência do solo à penetração e aumento da sua macroporosidade. O uso da haste sulcadora promoveu um acréscimo de 11,3% na produtividade do milho, em relação à obtida com uso de sulcador de discos.

Mello & Borghi (2001) estudaram a rugosidade superficial do solo e a produção da cultura do milho em um Latossolo Vermelho distrófico típico argiloso, submetido a diferentes sistemas de manejo do solo (cultivo mínimo e plantio direto) e da palha do milho (roçadora, rolo-faca, triturador horizontal e aplicação de herbicida dessecante). Os resultados obtidos permitiram concluir que o índice de rugosidade e a produtividade de grãos sofreram influência dos sistemas de manejo do solo, com valores maiores no cultivo mínimo. Os sistemas de manejo da palha não influenciaram o índice de rugosidade e a produção de grãos de milho.

Em um ensaio com o objetivo de avaliar a área de solo mobilizada, em semeadura direta, por uma haste sulcadora tipo facão atuando em quatro profundidades (0,12, 0,16, 0,24 e 0,30 m), Mion et al. (2002) concluíram que a medida que foi aumentada a profundidade de atuação da haste sulcadora, a área de solo mobilizada também aumentou, chegando a uma diferença de 78% entre a menor (194,36 cm<sup>2</sup>) e a maior profundidade (346,61 cm<sup>2</sup>).



### 2.1.5 Compactação do solo e resistência do solo à penetração

A semeadura direta é uma eficiente técnica no controle da erosão do solo, quando comparado com o sistema convencional (Seganfredo et al., 1997; Bertol et al., 1997). Porém, estudos indicam uma maior compactação superficial na semeadura direta (Hakansson & Medvedev, 1995; Klein & Boller, 1995; Tormena et al., 1998), provocada pelo efeito cumulativo do tráfego de máquinas e acomodação natural das partículas sólidas do solo. Vários trabalhos indicam aumento no estado de compactação dos solos submetidos à semeadura direta (Hakansson et al., 1988; Reinert, 1990; Silva & Kay, 1997).

Determinados solos têm maior capacidade para suportar cargas, e são mais facilmente manejados após períodos de chuva, sem limitações ao crescimento vegetal (Reinert, 1990). A distinção entre tipos de solo se deve aos diferentes estados de agregação, à textura, ao teor de água, ao conteúdo de matéria orgânica e ao histórico de tensões do solo (Horn & Lebert, 1994). Características do solo, como matéria orgânica (Stone & Ekwue, 1995), estrutura (Horn et al., 1995), teor de água e densidade do solo (Reinert, 1990; Dias Júnior, 1994; Kondo & Dias Júnior, 1999; Silva et al., 2002), são afetadas pelo manejo e influenciam seu comportamento compressivo, especialmente quando não há revolvimento da sua camada superficial, como no caso da adoção de semeadura direta.

Gill & Vanden Berg (1968) definem a resistência do solo como a habilidade ou capacidade de um determinado solo resistir ou suportar uma força nele aplicada, numa determinada condição. A resistência do solo à penetração é devida a dois fatores: compressão das partículas primárias, e fricção entre partículas primárias e agregados durante o movimento relativo da raiz (Groenevelt et al., 1984). Em outras palavras, a resistência à penetração é resultante de características oriundas da compactação, que é definida pela textura e densidade do solo, e pelo seu teor de água.

Em geral a resistência mecânica do solo à penetração aumenta proporcionalmente com o aumento da densidade e decresce com o conteúdo de água (Cassel & Lal, 1992).

Conforme Lanças (1991), pela facilidade e rapidez com a qual numerosas medidas podem ser realizadas, a resistência à penetração é

freqüentemente utilizada para a indicação comparativa do grau de compactação em solos de mesmo tipo e com mesmo teor de água.

Um dos indicadores de compactação no solo é a resistência do solo à penetração, que descreve a resistência física que o solo oferece a algo que tenta se mover através dele, como uma raiz em crescimento ou uma ferramenta de cultivo (Pedrotti et al., 2001). Os níveis críticos de resistência do solo para o crescimento das plantas variam com o tipo de solo e com a espécie cultivada. Ehlers et al. (1983), Nesmith (1987), Merotto Jr. & Mundstock (1999) e Canarache (1990) indicaram valores de 1; 2; 3,5 e 5 MPa, respectivamente, como sendo o limite crítico de resistência à penetração de raízes. Muitos pesquisadores, contudo, utilizam o valor de 2 MPa como o limite crítico (Taylor et al., 1966).

Reichert et al., (2003) associaram densidade do solo e textura do solo, e propuseram valores de limites críticos de densidade do solo de 1,45 Mg m<sup>-3</sup> para solos com textura argilosa (> 55% de argila), 1,55 Mg m<sup>-3</sup> para textura média (20 a 55% de argila), e 1,65 Mg m<sup>-3</sup> para textura arenosa (<20% de argila). Os valores de limites críticos de densidade do solo propostos mostraram-se consistentes para solos argilosos, mas subestimados para solos de textura média e arenosa.

### **2.1.6 Importância das raízes no sistema**

Allmaras et al. (1973), reconhecem quatro funções principais das raízes: ancoragem da planta, armazenagem de metabólitos vegetais, absorção de água e absorção de nutrientes, sendo estas duas últimas suas funções principais, as quais são fortemente influenciadas pela configuração radicular.

Barber (1971) afirma que, como práticas de aração afetam a porosidade e a densidade do solo, provavelmente também afetem a morfologia das raízes. De fato, posteriormente, Hallmark & Barber (1981) confirmaram que o raio médio das raízes aumenta, enquanto que o peso da raiz e sua área superficial diminuem, com o aumento da densidade do solo.

A compactação do solo leva ao aumento da densidade do solo, aumento da resistência à penetração radicular, redução da infiltração e da aeração, alteração do fluxo de água e calor e da disponibilidade de água e

nutrientes (Negi et al., 1980; Arvidson & Hakansson, 1991). Taylor & Gardner (1963) mostraram que a penetração radicular diminui com o aumento da densidade para um determinado potencial da água no solo e determinaram que, a uma mesma densidade, a penetração diminui com a diminuição da umidade. Barley (1963) menciona que a resistência do solo é o fator que controla o crescimento das raízes. A diminuição do teor de água aumenta a resistência do solo, fazendo com que as raízes em expansão experimentem um impedimento mecânico cada vez maior.

O impedimento mecânico não é a única maneira pela qual o teor de água influi no crescimento radicular em solos compactados. Hopkins & Patrick (1970) investigaram a relação entre compactação do solo, oxigênio do solo e crescimento de raízes. A concentração de oxigênio também tem efeito sobre o crescimento radicular em níveis de baixa compactação. Com compactação elevada, o crescimento radicular foi pouco afetado pelo nível de oxigênio, provavelmente porque é controlado pela resistência do solo.

Gill & Miller (1956), estudando o crescimento da raiz em diferentes níveis de concentração de oxigênio, verificaram que a redução na concentração deste elemento reduz sua habilidade de se estender em zonas do solo com uma determinada resistência. Os pesquisadores mediram que o crescimento radicular foi praticamente zero com pequenas resistências, quando o nível de oxigênio foi muito baixo. Voorhees et al. (1975) alertam para o fato de ser muito difícil distinguir os efeitos da resistência física do solo e da deficiência de aeração do solo sobre o crescimento das raízes.

### **2.1.7 Importância do controle do tráfego**

No sistema de semeadura direta, há uma significativa redução do número de máquinas e, conseqüentemente, do tráfego de rodados sobre a superfície do solo, em relação aos demais preparos. No entanto, nesse sistema não ocorre revolvimento cíclico da camada superficial, podendo esta se compactar ou recompactar com o tempo de utilização. Esse efeito no solo, provocado pelo tráfego cumulativo de máquinas, foi relatado por Hakansson & Medvedev (1995), Klein & Boller (1995), e Levien (1999), notadamente até os

primeiros 0,20 m de profundidade, em solos com teores de argila superiores a 35-40%.

O tráfego controlado consiste numa forma de administração do tráfego de máquinas e implementos agrícolas, concentrando a passagem dos rodados sempre em uma mesma zona da superfície do solo. Esta concentração do tráfego busca uma otimização do uso do solo. Os locais de cultivos agrícolas não são propriamente adequados para o desenvolvimento de tração dos rodados do trator (o potencial de tração é melhor em solo mais rígido), e da mesma forma, os locais de tráfego de rodados podem apresentar uma estrutura imprópria para o desenvolvimento satisfatório de culturas agrícolas. Embora a área do solo atingida pelo tráfego seja menor, a intensidade é mais elevada (Trein et al., 2005).

Jorajuria et al. (2000), cita haver um número crítico de passadas num mesmo local, a partir do qual não haveria mais diferenças entre a aplicação de mais ou menos carga ao solo.

Botta et al. (2000) ressaltam que na primeira passada dos rodados interessa a pressão de contato pneu-solo, independentemente da sua capacidade de suporte. A partir de 10 passadas, o peso sobre o rodado seria o responsável pela imposição de compactação superficial e subsuperficial ao solo.

Trafegando repetidamente sobre as mesmas áreas, procura-se prevenir a compactação do solo, evitando que a mesma ocorra de maneira dispersa no solo. Nesse sentido, Unger (1996) aponta que a densidade do solo e a resistência à penetração foram maiores nas zonas de tráfego de rodados do que nas áreas sem tráfego, em uma área com semeadura direta de aveia e sorgo em rotação, sob condições limitadas de irrigação.

Trabalhos realizados na Austrália e nos Estados Unidos mostram que, enquanto em preparo convencional o tráfego ocorre em até 86% da área, em semeadura direta este valor cai para 46%, e em áreas com tráfego controlado, somente 17% da área é atingida pelos rodados. Há relatos de 9 a 16% de aumentos de produtividade em culturas agrícolas, apenas pela adoção de tráfego controlado (Trein et al., 2005), o que pode viabilizar seu emprego em áreas mais favoráveis em termos de relevo e extensão.

Também é importante controlar o tráfego de veículos de carga como caminhões, reboques e graneleiros, que efetuam as operações de transporte de insumos e da produção agrícola, pelos mesmos motivos já mencionados, com o agravante de geralmente apresentarem rodados com pneus mais estreitos, e inflados a grandes pressões, o que aumenta a pressão de contato com o solo.

## **2.2 A cultura da soja**

O Brasil é atualmente o segundo produtor mundial de soja, com produção de 52,21 milhões de toneladas, cultivadas em 18,53 milhões de hectares (IBGE, 2003). Cerca de 70% da área plantada com soja é em semeadura direta, sendo assim, a principal cultura a utilizar o sistema no Brasil. No Rio Grande do Sul, foram produzidas 9,58 milhões de toneladas de soja em 3,59 milhões de hectares, na safra de verão 2004-2005 (IBGE, 2003).

A soja é uma das culturas que melhor se adapta em semeadura direta, segundo Landers (1995). A produtividade média da cultura de várias safras obtida em semeadura direta equivale-se a dos demais sistemas de manejo do solo, com ainda pequena vantagem para a semeadura direta.

Uma das cultivares de soja bastante semeada no Rio Grande do Sul é a BRS 137. Segundo Bonato et al. (2001), a cultivar BRS 137 é uma variedade semi-precoce, recomendada para o Rio Grande do Sul, e apresenta hábito de crescimento determinado, estatura média de 0,78 m, peso médio de 100 grãos de 17,1 g e produtividade média de grãos de 3.031 kg ha<sup>-1</sup>.

### **2.2.1 Influência da compactação**

O manejo do solo e o tipo de preparo podem promover compactação do solo, o qual pode influenciar no desenvolvimento de culturas agrícolas.

Bortolotto et al. (2002) avaliaram, em um Latossolo Bruno distrófico, o grau de compactação do solo, a emergência a campo e o índice de velocidade de emergência de seis cultivares de soja, em semeadura direta e em preparo convencional. O menor grau de compactação do solo no preparo convencional proporcionou melhor emergência da soja, mas o índice de

velocidade de emergência não teve esse mesmo comportamento. A cultivar que melhor se desenvolveu inicialmente foi a BR-135, na semeadura direta, e a BR-136, no preparo convencional.

A resposta de culturas anuais produtoras de grãos em relação à compactação tem se mostrado, às vezes, contraditória. Radford et al. (2001) encontrou redução na produtividade de grãos de trigo e milho para os tratamentos que receberam compactação pelo tráfego de máquinas na superfície do solo. Bicki & Siemens (1991) encontraram que a produtividade da soja e do milho respondeu positivamente ao tráfego, quando a precipitação pluvial foi limitante, e negativamente, quando a precipitação foi adequada.

Swan et al. (1987) resumem o efeito do clima, do tipo de solo e do nível de compactação sobre a produtividade de grãos, concluindo que a máxima é obtida em um nível ótimo de compactação, o qual é dependente do tipo de solo e , em regiões onde ocorrem ciclos de congelamento e degelo do solo, das condições climáticas.

Avaliando a produção de matéria seca da parte aérea e de raízes, e comprimento e diâmetro radicular da soja em razão da sucessão de cultivos e da compactação do solo, Silva & Rosolem (2002) observaram que o cultivo anterior com aveia-preta, quando e milheto favoreceu o crescimento radicular da soja abaixo de camadas compactadas do solo, e, independentemente do nível de compactação, o cultivo anterior do solo com qualquer uma das espécies estudadas beneficiou a produção de matéria seca da parte aérea da soja.

### **2.2.2 Relação entre preparo do solo, resíduos culturais e invasoras**

A cultura de aveia preta possui, no Rio Grande do Sul, expressiva área cultivada antecedendo à cultura da soja, com a finalidade de proteção do solo no inverno e, em algumas situações, também visando a produção de grãos (Bortoluzzi & Eltz, 2001).

A preferência pela utilização de aveia preta antecedendo à da soja, é pela alta cobertura do solo que proporciona, com boa distribuição sobre o solo e persistência no tempo (Almeida, 1988). Tal preferência se justifica pela

adaptabilidade às condições climáticas, produção de elevada quantidade de resíduos, redução na infestação de plantas daninhas (Kissmann & Groth, 1997), aumento no conteúdo de água no solo (Campos et al., 1994) e aumento na produtividade da soja (Derpsch et al., 1985).

No Brasil, várias pesquisas têm sido realizadas visando ao manejo dos resíduos culturais no controle de plantas daninhas (Durigan & Almeida, 1993).

Conformação e arranjo dos resíduos sobre o solo afetam variáveis como regime de temperatura, cobertura e conservação da água no solo (Streck et al., 1994), e também as comunidades de plantas daninhas (Buhler, 1995; Pitelli, 1985).

No trabalho realizado por Pereira (1990), o autor verificou que dentre dezessete tipos de cobertura morta, o milheto, o sorgo, o milho e a crotalária foram as mais eficazes na redução da biomassa verde das plantas daninhas na cultura da soja em semeadura direta, com redução média de 70% na mesma.

Em experimento com soja em semeadura direta, Vidal et al. (1998) verificaram uma redução na infestação de *Brachiaria plantaginea* com o incremento de palha de aveia preta até 6 Mg ha<sup>-1</sup>, ficando estável a partir dessa quantidade. Quanto à espécie *Setaria faberi* Herrm., os autores observaram uma redução uniforme na sua infestação até 9 Mg ha<sup>-1</sup> de palha de trigo. Também verificaram que a produtividade máxima de soja foi obtida nos tratamentos com controle químico de gramíneas, sem influência das quantidades de palha. No entanto, quando o controle de gramíneas dependeu apenas da cobertura do solo proporcionado pelos resíduos culturais, observou-se aumento na produtividade da soja com o incremento da quantidade de palha sobre o solo.

A distribuição desuniforme de resíduos e a movimentação do solo, causada por diferentes preparos, promovem reduções na cobertura do solo e favorecem a emergência de plantas daninhas (Blanco & Blanco, 1991).

A ação conjunta do não-revolvimento do solo e da cobertura morta, em condições de bom controle de plantas daninhas, pode favorecer uma menor densidade de infestação nos campos submetidos ao sistema de semeadura direta, quando comparados ao convencional, como foi observado por Almeida (1985).

### **2.2.3 Irrigação, componentes de rendimento, práticas de manejo e produtividade**

O crescimento da planta depende da taxa fotossintética por unidade de área foliar, área total disponível para fotossíntese e duração da área foliar (Begg & Turner, 1976). A deficiência hídrica inibe mais cedo e mais severamente a expansão celular do que a fotossíntese na planta de soja, provocando diminuição na área foliar (Boyer, 1970). Por outro lado, a deficiência hídrica pode provocar queda ou acelerar a senescência de folhas fisiologicamente velhas, com o objetivo de reduzir o uso de água do solo ( Begg & Turner, 1976).

Em um experimento onde a cultura da soja foi submetida a pequenos períodos de deficiência hídrica, a partir do início da fase de enchimento de grãos, Bredan & Egli (2003) observaram que as plantas entraram em senescência mais cedo, e apresentaram menor produtividade e grãos menores, em relação às plantas sempre irrigadas. Observaram também que, uma vez iniciada a senescência das plantas devido à deficiência hídrica, não houve reversão do processo, mesmo com irrigação.

Durante o período de deficiência hídrica há menor translocação de fotoassimilados na planta de soja, devido à redução da fotossíntese nas folhas e à inibição do crescimento dos órgãos da planta (Sionit & Kramer,1977).

A deficiência hídrica diminui a altura da planta da soja, mas não afeta o número de nós no caule, e nem o número de grãos por legume em cultivares com hábito de crescimento determinado (Momen et al.,1979).

O maior acúmulo de matéria seca vegetativa nos ramos da soja ocorre entre o início do florescimento e início do enchimento de grãos (Board & Settini,1986). Condições adequadas de nutrição e maior interceptação de luz neste período aumenta a produtividade potencial da soja, pois o maior número de nós nos ramos potencializa o número de gemas reprodutivas (Board et al., 1990).

Peixoto et al., (2002a), estudando a influência da deficiência hídrica em diferentes fases fenológicas da cultura da soja, apontam que os cultivares apresentaram desempenho diferenciado para produtividade de grãos quando ocorreu falta de água no solo nas fases vegetativa, de florescimento e



granação. A deficiência hídrica na fase de enchimento de grãos foi a que mais influenciou negativamente a produção de massa seca e a área foliar dos cultivares estudados.

A deficiência hídrica no período de enchimento de grãos reduz o tamanho dos mesmos, devido à diminuição do suprimento de fotoassimilados pela planta ou por inibição do metabolismo do próprio grão (Westgate et al., 1989). Nessa fase, a taxa de acúmulo de matéria seca e a duração do período de enchimento de grãos são os principais determinantes da produtividade (Bonato, 2000).

Em um experimento relacionando o desenvolvimento e a produtividade da soja com períodos de deficiência hídrica, Thomas & Costa (1994) concluíram que o número de legumes por planta e o peso dos grãos foram os componentes de rendimento mais afetados. O maior índice de área foliar e o maior período de enchimento de grãos proporcionaram maior rendimento às plantas do tratamento irrigado, as quais apresentaram, também, uma maior estatura e maiores valores de índice de colheita aparente, em relação àquelas do não irrigado.

Conforme Thomas et al. (1998), existe uma relação linear entre a produtividade de grãos e a matéria seca acumulada pelas plantas de soja até o início do enchimento de grãos. Nesse estágio, com uma quantidade igual ou superior a  $500 \text{ g m}^{-2}$  de matéria seca de plantas de soja, a produtividade tende a estabilizar, ou seja, atinge seu teto máximo.

Em um estudo envolvendo diferentes arranjos de plantas (espaçamentos, número de plantas por área) e regime hídrico (com e sem irrigação), Rambo et al. (2003) concluíram que o estresse hídrico no final do ciclo da cultura da soja diminuiu sua produtividade, devido à redução da massa dos grãos.

Segundo Câmara (1998) e Peluzio et al. (2000), considerando uma determinada população de plantas de soja por área, a sua produtividade decresce com o aumento da densidade de plantas na linha e com o maior espaçamento entre-linhas. Isso ocorre em razão da maior competição entre as plantas de uma mesma fileira.

Em um ensaio conduzido por Peixoto et al., (2000), o componente de rendimento mais afetado foi o número de vagens por planta, pela redução

no número de ramos. O número de vagens por planta variou inversamente com o aumento ou redução da população.

Oplinger (2004) ressalta que plantas de soja tendem a se adaptar a maiores ou menores taxas de uso de água. Verificou que, uma vez iniciada a irrigação, qualquer interrupção no suprimento de água pode ocasionar maiores perdas em produtividade em plantas irrigadas, do que em plantas que não receberam irrigação.

Uma característica peculiar da cultura da soja é sua plasticidade, ou seja, sua capacidade de ajustar seus componentes de produção aos diferentes arranjos espaciais, sem que ocorram significativas diferenças de produtividade (Heiffig, 2002).

Para a obtenção de produtividades elevadas, é necessário que as condições ambientais sejam favoráveis em todos os estádios de crescimento da soja, e que as práticas culturais aplicadas maximizem a taxa de acúmulo de matéria seca no grão (Ritchie et al., 1994).

A utilização de práticas de manejo que maximizem o desenvolvimento do aparato fotossintético da cultura da soja contribui para que se tenha equilíbrio entre os fotoassimilados produzidos e os utilizados pelas plantas. Essa é a característica da relação fonte-demanda onde as folhas são responsáveis pela produção de fotoassimilados (fonte) e a demanda é representada pelos pontos de crescimento vegetativo e pelas estruturas reprodutivas (Portes, 1988).

A fertilidade do solo é outro fator que, em níveis não adequados, afeta o crescimento da soja e diminui a produtividade de grãos. Do ponto de vista fisiológico, as deficiências nutricionais ocasionam, primeiramente, a inibição do crescimento e utilização dos produtos da fotossíntese, e pode interferir na nodulação, e na fixação e assimilação de nitrogênio (Costa, 1996).

Além de práticas culturais e do controle da interferência de plantas invasoras na cultura, é necessário adequar a população de plantas e seu arranjo, para se obter produtividades elevadas. A população de plantas influencia algumas características agrônômicas da cultura da soja como produtividade e sua estatura (Urban Filho & Souza, 1993), o que pode alterar a produção de grãos (Lam-Sanchez & Veloso, 1974).

A soja tolera uma ampla variação na população de plantas, alterando mais sua morfologia que a produtividade de grãos (Barni et al., 1985; Gaudêncio et al., 1990). A menor resposta da soja à população é decorrente da sua capacidade de compensação no uso do espaço entre plantas (Peixoto et al., 2000). Herzog (2003), com uma população de aproximadamente 100.000 plantas por hectare atingiu uma produtividade de 3.300 kg ha<sup>-1</sup> em semeadura direta, com irrigação.

Embora possam ser obtidas elevadas produtividades de soja com populações relativamente baixas, do ponto de vista da mecanização, esta condição implicaria em maiores dificuldades de corte do caule das plantas, que normalmente engrossam para suportar maior carga de ramos e grãos da planta. A barra de corte da plataforma das colhedoras pode sofrer desgaste e fadiga adicionais devido ao corte de caules grossos das plantas de soja (Coelho et al., 2004).

Alguns resultados de pesquisa sugerem que, normalmente, a máxima produção de grãos coincide com a densidade populacional que determina a estabilização de crescimento de produção biológica (matéria seca). Mas a produtividade econômica é apenas uma fração da produtividade biológica, e esta fração representa o índice de colheita (Donald, 1963). Esse índice decresce com o aumento da população de plantas, em virtude de adaptações morfológicas que ocorrem na cultura da soja (Pereira, 1989).

#### **2.2.4 Produção de matéria seca de raízes, parte aérea e grãos**

Nas plantas, o particionamento representa a distribuição da matéria seca entre seus diferentes tecidos. A mudança gradual do particionamento entre os tecidos das plantas durante o seu desenvolvimento é um dos pontos importantes para o estudo da produtividade dos cultivos. Alguns autores demonstram que ocorrem mudanças no particionamento em função de condições ambientais como disponibilidade de água e luz, geralmente conhecidas como adaptação, ou melhoraria da eficiência no uso dos recursos naturais, e às vezes, como uma resposta compensatória ao ambiente (Coutinho, 1996).

Herzog et al. (2004) avaliando a produção de biomassa total da cultura da soja, em experimentos com e sem irrigação, não observaram diferença entre as proporções de matéria seca de grãos, parte aérea e raízes (38%, 28% e 34%, respectivamente), independentemente do uso de irrigação. Porém, na média de todos os tratamentos, verificaram uma diferença em torno de  $1,0 \text{ Mg ha}^{-1}$  na produção de biomassa a favor das parcelas que receberam irrigação.

Cepik et al. (2003a) analisando a produção de matéria seca de raízes em função de duas profundidades de atuação do sulcador de adubo e doses de resíduos sobre o solo, em um experimento com semeadura direta de milho, com e sem uso de irrigação, observaram que os valores de massa de raízes aumentaram com a maior profundidade de atuação do sulcador de adubo (maior mobilização do solo), e com maiores doses de resíduos sobre o solo, independentemente do uso de irrigação ou não. O uso de irrigação promoveu uma diferença média de 15% a mais de raízes em relação aos tratamentos sem irrigação.

Macedo & Miranda (2001), avaliando a cultura da soja em sistemas de cultivo contínuo e rotacionado com pecuária, verificaram diferenças significativas na produção de matéria seca da parte aérea das plantas e das raízes de soja, mas não para produção de grãos. A soja cultivada continuamente em preparo convencional produziu as maiores quantidades de matéria seca da parte aérea, com menor produção de raízes, comparativamente com a soja de primeiro ano, em preparo convencional após pastagem, com grande produção de raízes, mas menor produção de matéria seca da parte aérea. A soja de primeiro ano, sob semeadura direta após pastagem, produziu maior massa de raízes em comparação à soja cultivada continuamente por cinco anos, pelo mesmo sistema.

Correia & Nogueira (2004), em um estudo de avaliação do crescimento de plantas de amendoim submetidas à deficiência hídrica, concluíram que a suspensão total de rega promoveu redução na alocação de biomassa para as folhas e caules, e aumentou a alocação de biomassa para as raízes, em relação às plantas irrigadas (controle). A relação massa de raízes/parte aérea aumentou, com o incremento do estresse hídrico, na ordem de 42,8% para as plantas sob suspensão de rega, em relação ao seu controle,

ao final do período experimental. Comportamento similar foi observado por Barbosa (1991), Barbosa & Prado, (1991), e Barros & Barbosa (1995) em experimentos com várias espécies de leguminosas da caatinga de Pernambuco. Segundo estes autores, o aumento da relação massa das raízes/parte aérea em plantas sob deficiência hídrica seria um mecanismo de resistência à seca, pelo desenvolvimento do sistema radicular (aumento da área de absorção de água), em detrimento da parte aérea (diminuição da área de evapotranspiração).

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Localização e características climáticas da região da área experimental**

O experimento foi instalado e conduzido no ano agrícola de 2003/2004, na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, a qual encontra-se localizada no município de Eldorado do Sul, Estado do Rio Grande do Sul, região fisiográfica da Depressão Central. O solo, pertencente à unidade de mapeamento São Jerônimo (Brasil, 1973), apresenta textura superficial arenosa, sendo sua origem granítica, e atualmente classificado como Argissolo Vermelho distrófico típico – PVd (Embrapa, 1999). A área experimental tem declividade média de 0,02 m m<sup>-1</sup>, e a precipitação média anual da região é de 1.440 mm, com clima do tipo subtropical de verão úmido quente (Cfa) (Bergamaschi & Guadagnin, 1990), segundo classificação de Köeppen.

#### **3.2 Histórico de uso da área experimental**

Inicialmente sem utilização agrícola ou experimental por um período mínimo de dez anos, o solo da área onde foi instalado o experimento apresentava vegetação predominante composta por plantas típicas da região, sendo considerado, na época, como campo natural. Devido à divisão do experimento em função da utilização ou não de irrigação, uma parte das parcelas ficou localizada na porção superior da coxilha, enquanto a outra se localizou parte no interflúvio e parte na sua encosta. Ainda que existam dentro da área experimental diferenças quanto à localização dos tratamentos, o tipo de solo é o mesmo, com características físicas e químicas similares.

Antes da instalação do experimento, foram realizadas amostragens para análise química do solo, nas profundidades de 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m, atentando para a possibilidade da ocorrência de heterogeneidade nas características deste, com o objetivo de corrigir possíveis carências de nutrientes essenciais para as culturas de aveia preta e soja. Para estas amostragens foi utilizado um trado calador, descrito em 3.3. As amostras foram remetidas ao Laboratório de Análises da UFRGS e processadas conforme metodologia descrita por Tedesco et al., 1995. Os resultados médios encontram-se na Tabela 1, verificando-se que o solo possuía baixo pH, teores limitantes de fósforo, e médios de potássio.

**Tabela 1.** Análise química de um Argissolo Vermelho distrófico típico, nas profundidades de 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m, antes da instalação do experimento

	pH	Índice	Argila	M.O.	P	K	Al <sub>troc</sub>	Ca <sub>troc</sub>	Mg <sub>troc</sub>
Profundidade	água	SMP	-----g kg <sup>-1</sup> ----		-mg dm <sup>-3</sup> -		-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----		
0,00 - 0,10 m	5,3	5,8	330	30	2,7	176	0,3	2,2	1,5
0,10 - 0,20 m	5,0	5,6	360	22	2,2	105	1,1	1,2	0,6

Em 2001, após a demarcação da área experimental, o solo foi corrigido com calcário, aplicado em superfície com um distribuidor tipo cocho, sem incorporação ao solo com qualquer tipo de implemento. A vegetação presente na área foi dessecada com herbicida Glifosate. Para a disposição dos tratamentos (parcelas) dentro de cada bloco e demarcação dos blocos (5 m x 42 m) e das parcelas (5 m x 7 m), foi realizado um sorteio.

A seguir, foi semeada a aveia preta, com espaçamento de 0,17 m nas entrelinhas, e profundidade média de deposição das sementes de 0,02 m. Para os tratamentos cujo objetivo era a produção de matéria seca de aveia na ordem de 4, 5 e 6 Mg ha<sup>-1</sup>, utilizou-se 90 kg ha<sup>-1</sup> de sementes, e 60 kg ha<sup>-1</sup>, nos tratamentos para a produção de 2 e 3 Mg ha<sup>-1</sup> de matéria seca de aveia. A adubação foi realizada conforme a recomendação do Manual de Recomendação de Adubação e Calagem (Tedesco et al., 1995) com adubação de base, e distintas doses de nitrogênio em cobertura, na forma de uréia, nas parcelas com objetivo de produção de 2, 3, 4, 5 e 6 Mg ha<sup>-1</sup> de matéria seca de aveia preta. Este manejo visava não somente a produção diferenciada de

matéria seca da parte aérea das plantas, mas também das suas raízes, para as diferentes doses de resíduo cultural desejadas.

Após a aveia preta atingir o ponto de maturação, foi efetuada a colheita. Durante a colheita, a palha proveniente do saca-palhas e das peneiras da colhedora foi coletada e uniformemente distribuída sobre a superfície do solo na quantidade necessária em cada parcela, relativa a cada dose de resíduo.

A semeadura da soja foi realizada no mês de novembro de 2001 com a semeadora-adubadora de precisão, e 70 kg ha<sup>-1</sup> de sementes com inoculante específico para soja, espaçadas em 0,45 m nas entrelinhas e a 0,05 m de profundidade média. A adubação seguiu as recomendações da pesquisa para a cultura, e o fertilizante mineral foi disposto em duas profundidades: 0,06 e 0,12 m.

No ano agrícola seguinte (2002-2003), a área foi utilizada com aveia preta, no inverno de 2002, e milho, no verão de 2002-2003. Da mesma forma que no cultivo anterior, procurou-se obter seis doses de resíduo de aveia preta, neste caso 0, 1, 2, 3, 4, e 5 Mg ha<sup>-1</sup>, para atender às necessidades do delineamento experimental. Após a aveia atingir o ponto de maturação, foi efetuada a sua colheita mecânica, da mesma forma anteriormente descrita, e sua palha disposta sobre a superfície do solo. A cultura do milho foi semeada com uma semeadora-adubadora de 3 linhas, espaçadas entre si em 0,80 m. Similarmente à semeadura da soja anterior, a profundidade de deposição de sementes foi regulada para 0,05 m, enquanto o fertilizante mineral foi disposto em duas profundidades: 0,06 e 0,12 m. A Tabela 2 resume o histórico da área até o presente experimento.

**Tabela 2.** Sucessão de culturas implantadas na área experimental

<b>Ano</b>	<b>Inverno</b>	<b>Verão</b>
2000	Campo Natural	
2001	Aveia preta	Soja
2002	Aveia preta	Milho
2003	Aveia preta	Soja



### 3.3 Equipamentos utilizados na instalação e condução do experimento

Para a instalação e condução da pesquisa no campo, foram utilizados os seguintes equipamentos:

-Trator com tração dianteira auxiliar (TDA); potência máxima do motor de 53 kW (75 cv), e massa em ordem de marcha de 3.520 kg; lastros de 200 kg no eixo dianteiro, e de 115 kg em cada roda traseira; pneus traseiros 18.4-30 R1, pneus dianteiros 12.4-24 R1, com pressão de inflação de 95 e 110 kPa, respectivamente; e bitola de 1,65 m nos eixos dianteiro e traseiro;

-Pulverizador tratorizado, montado, de barras; tanque com capacidade para 400 litros de calda e barras providas de 19 bicos tipo jato em leque 110-02, espaçados em 0,5 m; pressão de trabalho de 40 psi (275 kPa); largura útil de 9,5 m;

-Pulverizador costal, com acionamento manual; tanque com capacidade para 20 litros de calda; equipado com bico tipo jato em leque 110-03;

-Semeadora-adubadora de precisão, de fluxo contínuo, montada. Para a semeadura da aveia preta, a semeadora-adubadora foi equipada com 11 linhas espaçadas de 0,20 m; sulcadores para adubo e semente tipo discos duplos com 0,330 m (13"); correntes para cobrir o sulco em cada linha de semeadura; rodas para acionamento dos dosadores de adubo e sementes com 1,20 m de diâmetro, dotadas de pneus 5.00/16-12 R1, com pressão de inflação de 18 kPa; dosadores de adubo e de sementes tipo rotor dentado horizontal e rotor acanalado, respectivamente; condutores de adubos e sementes de borracha corrugada e flexíveis; depósitos de adubo e de sementes com capacidade para 162 kg (202 litros) e 136 kg (182 litros), respectivamente; e massa de 810 kg. Para a semeadura da soja e do milho, a semeadora-adubadora foi equipada com 5 linhas espaçadas de 0,40 m, e 3 linhas espaçadas em 0,80 m, respectivamente, com discos de corte de resteva liso de 0,356 m (14") de diâmetro, colocados à frente de cada linha de semeadura; sulcadores de adubo do tipo facão, com hastes instrumentadas com "strain gages" (extensômetros), com ponteiros de 0,025 m de largura e ângulo de ataque de 20°; sulcadores para semente tipo discos duplos, com 0,330 m

(13”); rodas compactadoras dispostas em “V”, com 0,305 m (12”) de diâmetro; dosadores de adubo e de sementes tipo rotor dentado horizontal, acionados por rosca sem fim e discos horizontais perfurados, respectivamente; condutores de adubo de borracha corrugada e flexíveis, e de sementes, de plástico e rígidos ;

-Unidade armazenadora de dados (Datalogger) desenvolvida conjuntamente com o setor de instrumentação eletrônica da Escola de Engenharia Elétrica da UFRGS, para armazenamento do dados de força de tração das hastes instrumentadas da semeadora-adubadora de precisão;

-Trilhadora estacionária, marca Lindner, com cilindro e côncavo de dentes, acionada por motor à gasolina com 8,83 kW de potência;

-Colhedora autopropelida de grãos, marca SLC-John Deere, modelo 1165, dotada de plataforma convencional com 14 pés (4,62 m) de largura; com picador de palhas; pneus dianteiros 18.4-30 R1, e traseiros 10.5/80-18; massa em ordem de marcha de 7.200 kg, sendo 2.250 kg no eixo traseiro e 4.950 kg no eixo dianteiro; bitola de 2,34 m no eixo dianteiro, e de 2,18 m no eixo traseiro;

-Aspersores com base de 1,5 m de altura; raio de molhamento de 18 m; e vazão de  $13 \text{ mm h}^{-1}$ ;

-Bomba de recalque de água acionada por motor Agrale; potência de 10,31 kW;

-Trado calador utilizado para amostragem de raízes, com diâmetro de 0,042 m, com sistema de êmbolo, o qual permite retirar o solo do seu interior de maneira rápida e mais facilmente;

-Perfilômetro, com hastes espaçadas de 0,01 m, largura total de 0,35 m e com regulagem variável de até 0,35 m no sentido longitudinal, utilizado para avaliação do volume de solo mobilizado por hectare pelos sulcadores da semeadora-adubadora;

-Penetrógrafo com armazenamento eletrônico de dados, com um cone com ângulo de  $30^\circ$ , acoplado em uma haste metálica. O método utilizado foi o descrito em Forsythe (1975) e modificado por Trein (1995);

-Quadro de madeira, com dimensões de 0,40 m por 0,60 m, totalizando  $0,24 \text{ m}^2$ , utilizado para demarcação da área de coleta de amostras de resíduos sobre o solo;

Na coleta de amostras para caracterização física do solo foram utilizadas trena metálica; latas de alumínio numeradas, com tampa, e com 80 mm de diâmetro e 60 mm de altura; espátula; colher de pedreiro; enxada, pá de corte; fita crepe; papel alumínio e caneta.

### 3.4 Cultura de inverno

No início do presente experimento havia sobre a superfície do solo resíduo de milho, o qual foi colhido com colhedora com unidade picadora de palha, cuja distribuição não foi padronizada, sendo geralmente bastante desuniforme.

Sobre a palha da cultura anterior (milho) foi semeada a aveia preta, no dia 22 de maio de 2003, com a semeadora-adubadora de fluxo contínuo descrita em 3.3, com espaçamento entrelinhas de 0,20 m, e profundidade média de deposição das sementes de 0,02 m. Para anteceder a cultura da soja optou-se por aveia preta (*Avena strigosa*, Schreb), por ser uma gramínea anual que apresenta desenvolvimento inicial rápido, eficiência na reciclagem de nutrientes, produção de massa verde entre 30 e 60 Mg ha<sup>-1</sup>, e de matéria seca entre 2 e 6 Mg ha<sup>-1</sup>, além de pouca exigência em fertilidade, grande capacidade de perfilhamento, rusticidade, e tolerância à seca.

Nos tratamentos de 0 Mg ha<sup>-1</sup> de massa seca de aveia preta, as plantas que emergiram foram dessecadas com herbicida de ação total Roundup® Original (glifosato, 480 g L<sup>-1</sup>), na dosagem de 1,5 L ha<sup>-1</sup> de produto comercial. Semeada na densidade de 90 kg ha<sup>-1</sup>, a semente de aveia preta apresentava poder germinativo de 75 % e pureza mínima de 90 %. A adubação, realizada conforme recomendação do Manual de Recomendação de Adubação e Calagem (Tedesco et al., 1995), foi dividida em adubação de base, onde foram utilizados 100 kg ha<sup>-1</sup> de adubo da fórmula 05-20-20, e em adubação de cobertura, quando foram aplicados 40 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio, na forma de uréia (fórmula 45-00-00), em dois momentos distintos: no dia 16 de julho de 2003, quando foi aplicada metade da dose em todos os tratamentos (2, 3, 4, 5 e 6 Mg ha<sup>-1</sup>), exceto nas parcelas com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia, e a outra metade da dose, em 07 de agosto de 2003, nos tratamentos onde visava-se obter doses mais elevadas de resíduos culturais de aveia preta

(4, 5 e 6 Mg ha<sup>-1</sup>), com o objetivo de incrementar nestes últimos não somente a matéria seca da parte aérea, mas também a de suas raízes.

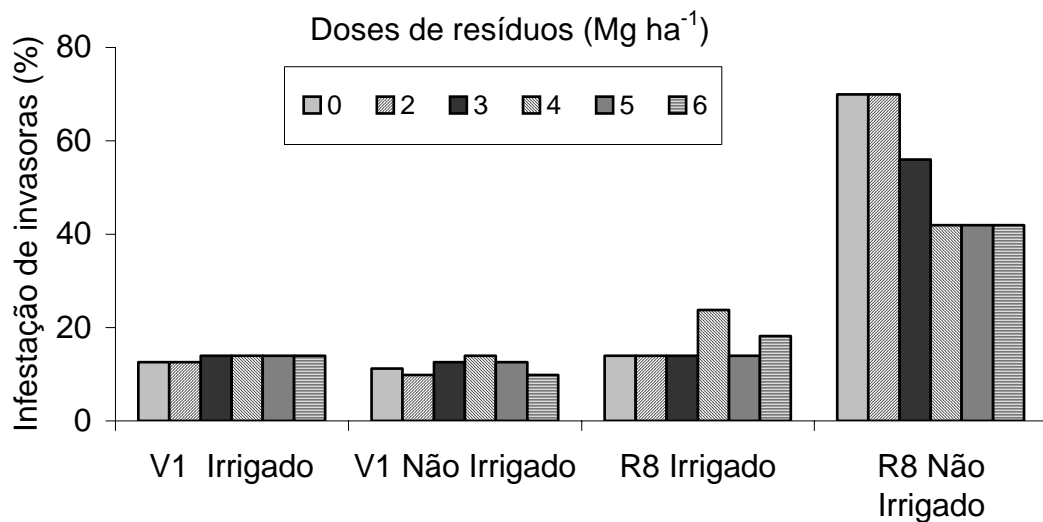
Após a aveia preta atingir o ponto de maturação, foi efetuada a colheita mecânica da mesma, com auxílio da colhedora de grãos citada em 3.3. A palha proveniente do saca-palhas e das peneiras da colhedora foi coletada em lona plástica, pesada, e a quantidade relativa à dose de resíduo necessária em cada parcela foi uniformemente distribuída sobre a superfície do solo.

### 3.5 Cultura de verão

A opção pela cultura da soja, como cultura de verão, deveu-se ao fato de dar continuidade ao experimento em questão, considerando a necessidade da rotação de culturas preconizado no sistema de semeadura direta. Apesar de ser uma espécie amplamente cultivada no Estado do Rio Grande do Sul, a cultura da soja ainda é muito carente em pesquisas sobre a sua implantação em sistema de semeadura direta, principalmente partindo de campo nativo.

A semeadura da soja foi realizada em 21 de novembro de 2003, com o conjunto trator + semeadora-adubadora descritos no item 3.3, sem uso da tração dianteira auxiliar. Foi utilizada a variedade BRS 137, recomendada para a região (Bonato et al., 2001), com poder germinativo de 80 %, e pureza mínima de 90 %. Foram utilizadas 52 sementes m<sup>-2</sup>, inoculadas com inoculante específico para soja, com espaçamento de 0,40 m nas entrelinhas. A velocidade da operação de semeadura do conjunto trator + semeadora-adubadora foi de 5,6 km h<sup>-1</sup>. Na adubação, realizada conforme recomendação do Manual de Recomendação de Adubação e Calagem (Tedesco et al., 1995), foram aplicados 300 kg ha<sup>-1</sup> do adubo formulado 02-24-12 (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O). No dia 20 de novembro de 2003 foram aplicados 3,0 L ha<sup>-1</sup> de herbicida de ação total Roundup<sup>®</sup> Original (glifosato, 480 g L<sup>-1</sup>), para manejo químico (dessecação) da vegetação presente antes da semeadura da soja. Os tratamentos fitossanitários posteriores consistiram de uma aplicação pós-emergente de herbicida Fusiflex<sup>®</sup> (fluazifop + fomesafen), em 20 de dezembro de 2003, na dosagem de 2 L ha<sup>-1</sup> de produto comercial, para controle de corda-de-viola (*Ipomea spp*), capim marmelada (*Brachiaria plantaginea*), e picão preto

(*Bidens pilosa*); e Endosulfan Agripec<sup>®</sup> (endosulfan), em 8 de fevereiro de 2004, na dosagem de 1,5 L ha<sup>-1</sup> de produto comercial, para controle de percevejo verde (*Nezara viridula*) e de lagarta da soja (*Anticarsia gemmatalis*). As aplicações de herbicidas foram realizadas com pulverizador de barras e trator, que trafegaram nas bordaduras da área experimental, enquanto as aplicações de inseticida, com pulverizador costal, todos descritos em 3.3.



**Figura 1.** Infestação de plantas invasoras (%), nas parcelas com diferentes doses de resíduos (Mg ha<sup>-1</sup>), após a semeadura (V1) e no momento da colheita (R8), nos experimentos irrigado e não irrigado.

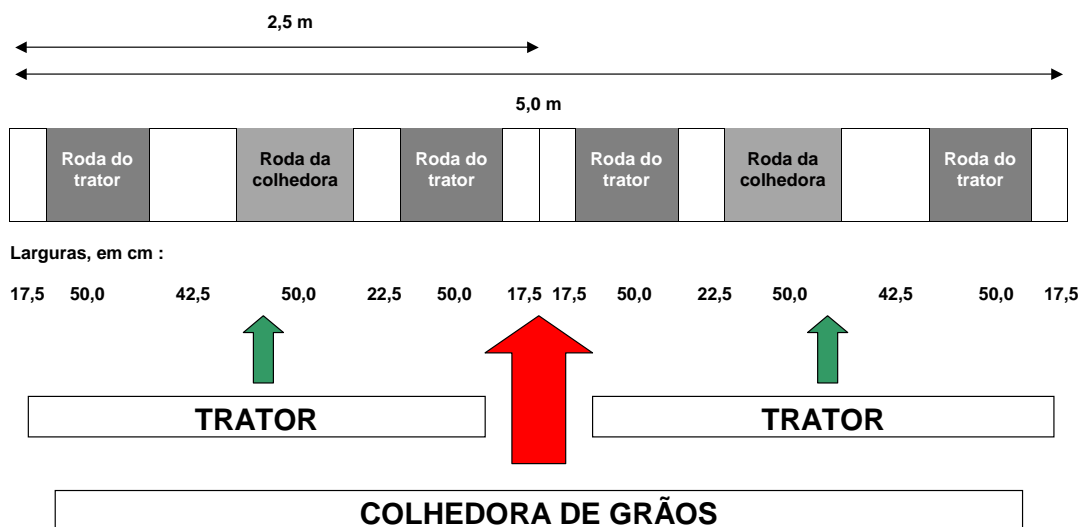
### 3.6 Tratamentos

Os tratamentos principais foram definidos por seis diferentes doses de resíduos de aveia preta sobre a superfície do solo: 0, 2, 3, 4, 5 e 6 Mg ha<sup>-1</sup>. A semeadura da soja foi realizada a 0,05 m de profundidade, enquanto o fertilizante mineral foi planejado para ser disposto pelo sulcador de adubo a duas profundidades, 0,06 e 0,12 m, as quais consistiram nos tratamentos secundários. Desta forma, com o objetivo de avaliar o efeito do grau de mobilização do solo, além da influência de uma adubação mais profunda sobre a cultura da soja em sistema de semeadura direta, modificou-se a profundidade de atuação do sulcador de adubo. Para possibilitar o controle do tráfego dentro

do experimento, as larguras das parcelas e subparcelas foram definidas de maneira que o tráfego das máquinas e equipamentos durante as operações de semeadura direta e colheita ocorressem sempre em locais determinados. Na Figura 2 consta um croqui do tráfego controlado nas parcelas e subparcelas do experimento. A largura das parcelas é 5 m, dividida em duas subparcelas de 2,5 m.

Considerando o período de três anos de duração experimento até o início da presente pesquisa, ocorreram no total seis passagens de rodados de colhedora, e seis passagens de rodados de trator, sempre nos locais definidos para o tráfego.

Os tratamentos foram implantados em dois experimentos, um com a utilização de irrigação, e o outro sem utilização de irrigação. A irrigação foi realizada por oito aspersores, descritos no item 3.3. Ocorreram precipitações de 53,9 e 8,3 mm, respectivamente nos dias 23 e 24 de novembro de 2003, ou seja, 2 e 3 dias após a semeadura da soja. As irrigações (Apêndice 9) foram realizadas sempre que o teor de água do solo esteve entre a condição de friável e seco. Para isso, antes de cada irrigação foi retirada uma amostra do solo para determinação do teor de água. O método utilizado foi da Embrapa (1997), onde se obteve a umidade gravimétrica, expressa em  $\text{kg kg}^{-1}$ . A avaliação da lâmina de água aplicada pelos aspersores foi feita com o uso de pluviômetros dispostos em locais dentro do experimento irrigado.



**Figura 2.** Croqui de uma seção transversal da área experimental, com as regiões de tráfegos dos rodados do trator e da colhedora.

### **3.7 Avaliações e amostragens**

Foram realizadas diversas amostragens e avaliações em diferentes fases do experimento, descritas a seguir.

#### **3.7.1 Durante e após a semeadura da cultura da soja**

##### **3.7.1.1 Atributos físicos do solo: resistência à penetração do solo e densidade do solo**

O estado de compactação do solo foi avaliado logo após a semeadura da soja, por meio da resistência do solo à penetração até 0,21 m de profundidade, em dois blocos (um com o uso de irrigação e o outro sem o uso de irrigação), nas parcelas subdivididas componentes de cada bloco, com o uso do penetrômetro eletrônico descrito no item 3.3. As leituras de resistência foram realizadas espaçadas em 0,20 m, para que cada ponto com tráfego de pneus possibilitasse pelo menos duas leituras, e transversalmente ao comprimento das parcelas. Desta forma, obteve-se dados nas regiões com tráfego e sem tráfego de pneus, nas subparcelas com o sulcador de adubo atuando nas duas profundidades: 0,06 m e 0,12 m. A metodologia utilizada foi descrita em Forsythe (1975) e modificada por Trein (1995).

No momento em que foi realizada a obtenção dos valores correspondentes à resistência do solo à penetração, foram coletadas amostras de solo para análise do teor de água em duas profundidades: 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m.

Foram coletadas também amostras de solo, na área experimental, utilizando-se o método do anel volumétrico, segundo Embrapa (1997), sendo o resultado expresso em  $\text{g cm}^{-3}$ .

##### **3.7.1.2 Porosidade total, macroporosidade e microporosidade do solo**

A porosidade total foi determinada de forma indireta, utilizando os valores de densidade de solo e densidade de sólidos (partícula do solo). As

amostragens foram realizadas juntamente com as de densidade do solo e a porosidade total foi calculada segundo a expressão:

$$\alpha = (1 - \rho_s / \rho_{\text{sólidos}}) \times 100$$

onde:

$\alpha$  = porosidade do solo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )

$\rho_s$  = densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ )

$\rho_{\text{sólidos}}$  = densidade de sólidos  $\text{g cm}^{-3}$

A microporosidade do solo foi considerada correspondente à classe de diâmetro de poros que consegue reter água à sucção de 0,6 m de altura de coluna de água, em volume conhecido de solo, utilizando-se funil de Haynes (Kiehl, 1979), sendo calculada pela expressão:

$$M_p = (a - b) / c$$

onde:

$M_p$  = microporosidade do solo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )

$a$  = Peso da amostra após ser submetida a uma tensão de 0,60 m de coluna de água (g);

$b$  = Peso da amostra seca em estufa a  $105^\circ\text{C}$  (g);

$c$  = Volume do cilindro ( $\text{cm}^3$ ).

A macroporosidade foi determinada pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade, sendo também expressa em  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ .

### 3.7.1.3 Patinagem das rodas tratoriais

Foi avaliada através da comparação entre o deslocamento do trator sem carga e o deslocamento efetivo enquanto cada parcela era semeada. Sendo assim, a avaliação foi realizada em cada parcela experimental, durante a semeadura da soja. Enquanto a semeadora-adubadora operava dentro de cada parcela subdividida, marcou-se com uma estaca o ponto no solo onde houve coincidência com uma marcação feita no pneu traseiro do trator. Após uma volta completa do pneu traseiro do trator, marcava-se este segundo ponto



no solo, com outra estaca, coincidente também com a marca feita no pneu. A distância entre a primeira e a segunda estaca foi medida e anotada. Para se obter a distância percorrida pelo trator sem carga foi utilizado o mesmo procedimento, só que com a semeadora-adubadora erguida pelo sistema hidráulico do trator, obtendo-se o valor da patinagem dos rodados tratórios do trator segundo a expressão que segue:

$$P = (dsc - dcc) / dsc$$

onde:

P = patinagem, em  $m\ m^{-1}$ ;

dcc= distância percorrida pelo pneu do trator com a semeadora-adubadora operando (m);

dsc= distância percorrida pelo pneu do trator com a semeadora-adubadora erguida (m).

#### **3.7.1.4 Profundidade máxima média do sulco produzido pela haste sulcadora de adubo**

Utilizando-se as leituras do perfilômetro, obteve-se os dados de máxima profundidade para cada sulco, sendo apresentados os dados médios referentes às repetições.

#### **3.7.1.5 Área da seção transversal do sulco e volume de solo mobilizado pelo sulcador**

Foram obtidas leituras da forma geométrica do sulco produzido pelo sulcador, com três repetições, utilizando o perfilômetro descrito em 3.3 e apresentado na Figura 3. Para isto, retirou-se o solo que havia sido mobilizado pela haste sulcadora de adubo, e foram colocadas duas estacas, lateralmente às linhas de semeadura, as quais serviram como referência para as leituras efetuadas. Após a retirada do solo solto, liberou-se as varetas do perfilômetro, as quais apresentam o mesmo comprimento e espaçamento, e ao atingirem o solo, copiaram o desenho do sulco nas suas extremidades superiores,

permitindo marcar, em uma folha de papel colocada à frente do painel do aparelho, o desenho formado pelas pontas das extremidades superiores das hastes do aparelho. As leituras foram realizadas após a passagem do conjunto trator + semeadora-adubadora em todos os ensaios. A área da seção transversal foi calculada a partir das leituras de profundidade e de largura do sulco resultante da mobilização do solo pela haste sulcadora de adubo da semeadora-adubadora, a qual é utilizada como base para o cálculo do volume de solo mobilizado. O cálculo do volume de solo mobilizado foi efetuado transformando a área da seção transversal em  $m^2$ , a qual foi posteriormente multiplicada pelos  $10.000 m^2$  de um hectare, e dividido pelo espaçamento entre-linhas (0,4 m), obtendo-se tal volume em  $m^3 ha^{-1}$ .



**Figura 3.** Vista frontal do perfilômetro

#### **3.7.1.6 Força de tração na haste sulcadora de adubo da semeadora-adubadora**

A força de tração demandada nas hastes sulcadoras de adubo, no momento da semeadura da soja, foi avaliada por meio de “strain gages” ou extensômetros, que são sensores eletrônicos instalados nos suportes das mesmas, avaliando-se a da posição central e da extremidade esquerda da semeadora-adubadora, esta última coincidente com o rastro do pneu do trator. Foram registradas as diferenças de potencial causadas pela deformação das

hastes em função da resistência que o solo oferece por ocasião da abertura dos sulcos de semeadura (Machado, 2001). Os dados (diferença de potencial) foram armazenados em uma unidade armazenadora de dados (datalogger) desenvolvida no Laboratório de Instrumentação Eletrônica da UFRGS. A partir destes dados calculou-se a demanda de tração (N), em função de uma curva de calibração pertinente a cada haste instrumentada, para cada profundidade do sulcador de adubo.

#### **3.7.1.7 Força de tração específica na haste sulcadora de adubo da semeadora-adubadora**

A força de tração específica foi obtida dividindo-se os valores de força de tração medida nas hastes pela respectiva área da seção transversal do sulco resultante.

#### **3.7.1.8 População de plantas de soja**

A população de plantas de soja emergidas foi obtida através da contagem das mesmas em 2,15 metros, por repetição, avaliada aos 21 dias após a semeadura.

#### **3.7.1.9 Plantas invasoras na cultura da soja**

Aos 30 dias após a semeadura (estádio R1 e antes da aplicação de herbicida específico) e na época da colheita (estádio R8), foram efetuadas avaliações para verificação da incidência de plantas invasoras na cultura da soja, baseadas em percentual da área coberta pelas mesmas.

#### **3.7.1.10 Massa seca das raízes de soja**

As amostragens de raízes presentes no solo foram realizadas no final do ciclo da cultura da soja, mais precisamente no dia 16 de abril de 2004 (estádio R8), com trado calador citado no item 3.3. Foram coletadas amostras na linha de semeadura e em cada lado da linha de semeadura, distanciadas

em 0,20 m, nas profundidades de 0,00 - 0,06 m e 0,06 - 0,12 m, em locais onde não havia presença de plantas invasoras, para que suas raízes não interferissem nos resultados das amostragens. As amostras foram levadas para laboratório e imersas em água para separação das raízes do solo com auxílio de peneiras com diâmetro de 0,5mm. A separação das raízes de outros materiais, como fragmentos de matéria orgânica, foi realizada manualmente, com pinças de ponta fina. As raízes separadas foram levadas à estufa, à 60°C por 24h, pesadas e, por meio de cálculos, determinou-se sua massa seca. A massa de raízes correspondente ao volume de solo amostrado foi convertida para massa de raízes por unidade de área ( $Mg\ ha^{-1}$ ), nas profundidades avaliadas, utilizando-se a fórmula  $V = \pi r^2 h$ , onde  $r$  é o raio do cilindro do trado calador, e  $h$ , a profundidade de amostragem.

#### **3.7.1.11 Estatura das plantas de soja**

Foram realizadas avaliações aos 45 e aos 90 dias após a semeadura, ou seja, estádios de desenvolvimento de V5 e R5, para verificação da estatura de plantas, utilizando-se uma trena metálica, medindo-se da superfície do solo até o ápice do colmo. Como resultado foi utilizada a média de dez plantas escolhidas aleatoriamente nas parcelas subdivididas.

A caracterização dos estádios de desenvolvimento da soja foi realizada de acordo com a escala proposta por Costa & Marchezan (1982). Os estádios de desenvolvimento foram determinados usando as parcelas testemunhas como referência. Considerou-se que as plantas atingiram determinado estágio de desenvolvimento quando mais de 50% delas apresentavam as características morfológicas descritas.

#### **3.7.1.12 Massa seca de resíduos culturais após a colheita da soja**

Esta foi obtida através da coleta manual de todos os resíduos dispostos sobre o solo em uma área de 0,4 m<sup>2</sup> por repetição. O material pertencente a cada repetição foi seco em estufa a 60° C, por 48 horas, pesado

e serviu de base para o cálculo da massa seca de resíduos sobre a superfície do solo, por hectare.

#### **3.7.1.13 Produtividade de grãos e de massa seca da parte aérea da soja**

No dia 21 de abril de 2004 foi realizada a colheita manual de todas as plantas de soja, totalizando uma área de 8,4 m<sup>2</sup> por repetição. O material colhido foi trilhado na trilhadora estacionária de grãos descrita em 3.3. Foram pesados, separadamente, grãos e parte aérea da soja. O peso dos grãos foi corrigido para 13% de umidade. Foram retiradas amostras de parte aérea da soja e levadas para a estufa, a fim de avaliar o seu teor de água no momento da colheita, e deste modo determinar o valor médio de matéria seca da parte aérea da cultura.

#### **3.7.1.14 Componentes de rendimento da soja**

As amostras para avaliação dos componentes de rendimento foram coletadas durante a colheita da cultura da soja, em todas as parcelas subdivididas avaliadas, nos experimentos com e sem utilização de irrigação. Foram amostradas 10 plantas por repetição, nas quais foram avaliados o número médio de legumes por planta, o número médio de grãos por legume, a produção média da massa de grãos por planta, e a massa média de 100 grãos, cujo processamento ocorreu em laboratório.

### **3.8 Delineamento experimental e análise estatística dos dados**

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com parcelas subdivididas e com três repetições. Os tratamentos principais foram as doses de resíduos culturais dispostos sobre o solo, e os secundários, as profundidades de atuação dos sulcadores de adubo da semeadora-adubadora. Os tratamentos foram conduzidos em experimentos com utilização de irrigação e sem utilização de irrigação.

Os dados obtidos a campo ou em laboratório foram tabulados e submetidos à análise de variância. Quando o valor de F foi significativo, as médias dos tratamentos foram comparadas entre si, utilizando-se o teste de análise de médias de Tukey ( $P < 0,05$ ).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Atributos físicos do solo

Após o solo da área ter sido utilizado por três anos com culturas anuais, verificou-se aumentos na sua resistência à penetração, densidade e microporosidade, e diminuição da sua macroporosidade, nos locais onde houve tráfego dos rodados do trator (dois tráfegos por ano agrícola), em relação aos locais sem tráfego (Tabela 3). Também, no experimento não irrigado, independentemente dos locais serem trafegados ou não, os valores de resistência à penetração, densidade e microporosidade do solo foram maiores do que os valores no experimento irrigado.

Resultados semelhantes foram observados por Unger (1996), que obteve valores mais elevados de resistência do solo à penetração e de densidade do solo nos locais com tráfego de rodados do maquinário agrícola, em relação aos locais não trafegados.

Silva & Sverzut (2004), a partir de amostras de um Latossolo Vermelho com diferentes densidades, concluíram que o aumento da densidade do solo impôs ao mesmo tempo uma diminuição da macroporosidade e um aumento da microporosidade. Enquanto a densidade do solo aumentou 38,3%, a macroporosidade foi reduzida em 401,4% no volume total de poros.

Como pode ser observado na Tabela 3, os valores de densidade do solo são elevados nas duas profundidades analisadas. Bayer (1996), em campo natural, neste mesmo tipo de solo, verificou densidades do solo entre 1,49 e 1,63 g cm<sup>-3</sup>. Os valores de macroporosidade encontrados foram inferiores a 0,10 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>, na camada de 5 a 10 cm. Estes valores, tanto de densidade do solo quanto o de macroporosidade, podem restringir o crescimento radicular e o desenvolvimento de plantas (Vomocil & Flocker, 1966; Grable & Siemer, 1968). As amostragens foram realizadas com a

umidade gravimétrica do solo de  $0,138 \text{ kg kg}^{-1}$  e de  $0,139 \text{ kg kg}^{-1}$ , valores muito próximos a condição de friabilidade do solo, que é de  $0,140 \text{ kg kg}^{-1}$ . Com base nestes dados pode-se afirmar que se este solo estivesse com umidade gravimétrica com valores inferiores aos analisados, as raízes poderiam ter dificuldades em desenvolver-se devido à elevada resistência do solo à penetração (2 MPa).

**Tabela 3.** Atributos físicos do solo da área experimental, nos locais sem tráfego e com tráfego, após 3 anos sob uso agrícola em solo originalmente de campo nativo.

Atributos	Irrigado		Não Irrigado	
	Sem tráfego	Com tráfego <sup>(3)</sup>	Sem tráfego	Com tráfego <sup>(3)</sup>
Resistência do solo à penetração (kPa) 0,00 – 0,12 m <sup>(1)</sup>	1469	1748	1920	2161
Resistência do solo à penetração (kPa) 0,12 – 0,21 m <sup>(2)</sup>	2039	2202	2393	2643
Densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ ) 0,00 – 0,06 m	1,70	1,74	1,71	1,82
Densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ ) 0,06 – 0,12 m	1,68	1,72	1,69	1,77
Porosidade total ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ )	0,48	0,43	0,45	0,39
Macroporosidade ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ )	0,10	0,08	0,09	0,06
Microporosidade ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ )	0,38	0,35	0,36	0,33

(1) Teor de água ( $\text{g kg}^{-1}$ ) : 138,2; RP média das profundidades 0,064 m e 0,100 m do sulcador de adubo

(2) Teor de água ( $\text{g kg}^{-1}$ ) : 139,0; RP média das profundidades 0,064 m e 0,100 m do sulcador de adubo

(3) Tráfego dos rodados do trator

#### 4.2 Patinagem das rodas tratórias do trator

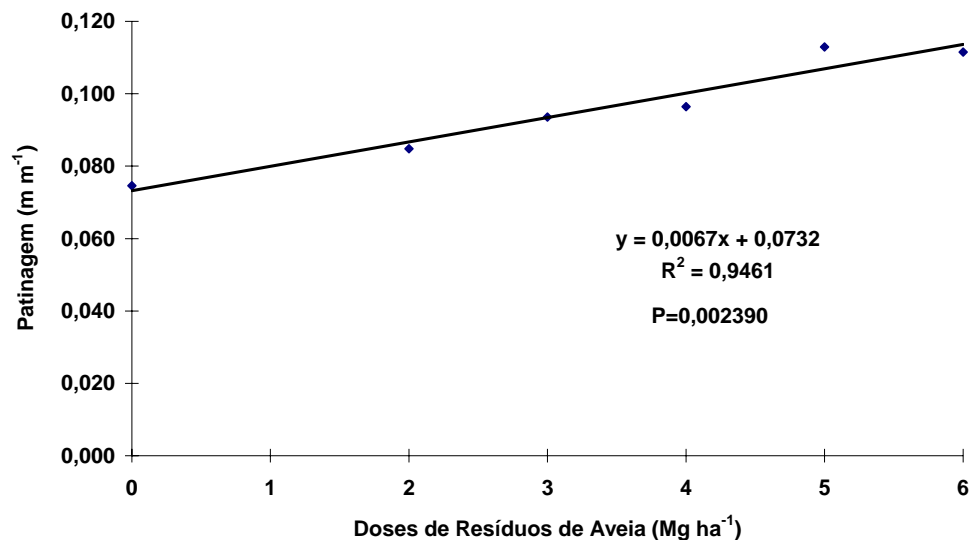
Como a força de tração medida na haste sulcadora da semeadora-adubadora foi estatisticamente igual, em todas as doses de resíduos (Tabela 6), verificou-se que a patinagem dos rodados do trator aumentou com a dose de resíduos distribuídos sobre a superfície do solo. A provável explicação é que, com o aumento da dose de resíduos ocorreu uma diminuição no contato entre o pneu do trator e o solo. Assim, para proporcionar tração,



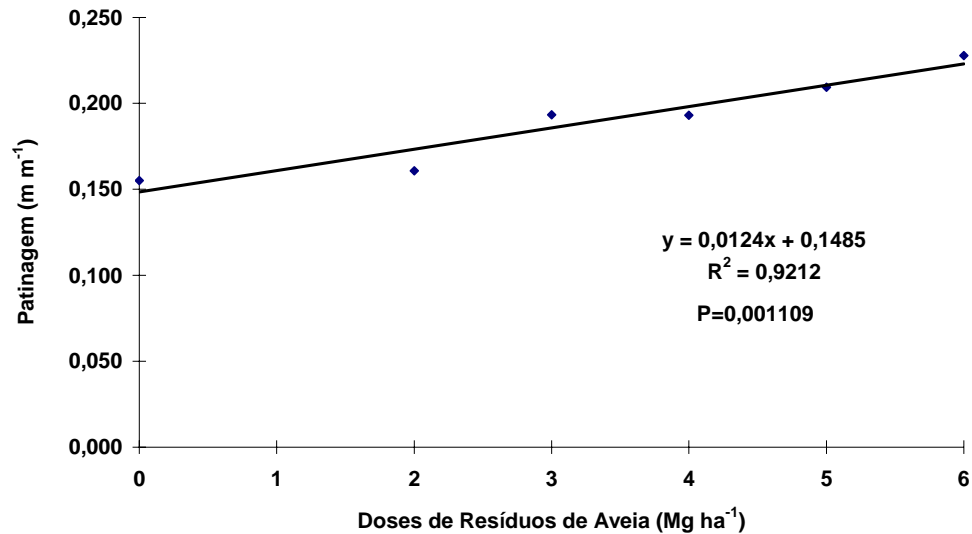
o pneu teve que remover resíduos, para aumentar o contato com o solo, conseqüentemente patinando mais.

Analisando-se conjuntamente as Figuras 4 e 5, bem como o Apêndice 7, verifica-se que a mudança da profundidade de atuação do sulcador de adubo de 0,064 m para 0,100 m dobrou a patinagem dos rodados do trator, independentemente da dose de resíduos sobre a superfície do solo. Com o sulcador operando a 0,100m, já seria necessário acionar a TDA (tração dianteira auxiliar) do trator, em condições de lavoura, mesmo no tratamento sem cobertura do solo com resíduos (0 Mg ha<sup>-1</sup>). Nas condições experimentais, observou-se um incremento de 0,7% e de 1,2% na patinagem, para cada tonelada de resíduos sobre o solo, respectivamente para o sulcador de adubo da semeadora operando a 0,064 m e a 0,100 m de profundidade.

A mesma tendência de aumento da patinagem em função do aumento da massa de resíduos sobre o solo, no momento da semeadura, também foram observados por Herzog et al. (2002a), Cepik et al. (2002b), Cepik et al. (2003b).



**Figura 4.** Reta de regressão linear para os valores de patinagem em função das doses de resíduos, com o sulcador de adubo atuando à 0,064 m



**Figura 5.** Reta de regressão linear para os valores de patinagem em função das doses de resíduos, com o sulcador de adubo atuando à 0,100 m

### 4.3 Profundidade máxima do sulco de semeadura

Os resultados medidos dos tratamentos profundidade de atuação do sulcador de adubo da semeadora, encontrados na Tabela 4, foram parcialmente satisfatórios no presente experimento. Como citado no item 3.6 do Material e Métodos, planejava-se operar com o sulcador de adubo nas profundidades de 0,06 m e 0,12 m. Nesta última, a média geral foi de 0,100 m, sendo 17 % inferior à profundidade desejada. Na profundidade de atuação do sulcador facção de 6,0 cm, encontrou-se a média de 6,4 cm, ou seja 7 % superior à desejada.

Os resultados encontrados estão de acordo com os publicados por Casão Júnior et al. (2000), que compararam dez modelos de semeadoras-adubadoras equipadas com hastes sulcadoras de adubo. Os autores constataram dificuldade geral de regulagem da profundidade do sulcador de adubo. As máquinas trabalharam entre 12,9 cm e 19,9 cm, valores bem acima dos 10,0 cm desejados nos testes que conduziram. Em função disso, concluíram que é preciso recomendar aos fabricantes estudar projetos que visem o desenvolvimento de um dispositivo para a manutenção da profundidade desejada de atuação da haste sulcadora de adubo.

**Tabela 4.** Valores de profundidade máxima média efetiva dos sulcos (cm) na operação de semeadura da soja, nos tratamentos avaliados.

Doses de resíduos (Mg ha <sup>-1</sup> )	Profundidade efetiva do sulcador		Médias <sup>1</sup>
	0,064 m	0,100 m	
0	7,6	9,4	8,5 ab
2	6,3	10,9	8,6 ab
3	6,7	11,1	8,9 a
4	6,1	9,1	7,6 b
5	5,7	9,7	7,7 b
6	6,0	9,5	7,8 ab
Médias <sup>1</sup>	6,4 B	10,0 A	8,2

C.V Resíduos: 6,97% C.V Profundidades: 6,86%

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05%)

#### 4.4 Área da seção dos sulcos de semeadura

Na Tabela 5 encontram-se os dados da área da seção transversal dos sulcos, quantificados logo após a operação de semeadura da soja.

Verifica-se que um aumento de apenas 0,036m na profundidade de atuação do sulcador de adubo (0,064 m para 0,100 m) implicou em 42 % de aumento na área mobilizada, não ocorrendo diferença significativa em função da dose de resíduo de aveia preta existente sobre o solo no momento da semeadura, nas duas profundidades de atuação do sulcador.

Os resultados indicam que a mobilização do solo efetuada pelo sulcador de adubo da semeadora-adubadora não foi influenciada pelas doses de resíduo.

Resultados semelhantes foram encontrados em trabalhos de Cepik et al. (2002a), Cepik et al. (2003b) e Silva et al. (2004a).

O fato de a mobilização do solo efetuada pelo sulcador de adubo da semeadora-adubadora não ter sido influenciada pelas doses de resíduo pode ser justificada, em parte, primeiramente, pelo grau de fracionamento dos resíduos pelo mecanismo picador-distribuidor da colhedora autopropelida de grãos, e depois, pela uniformidade da distribuição manual efetuada. Essa condição de palhada nem sempre é verificada em condição de lavoura.

Levien et al. (2003), avaliaram a uniformidade da distribuição dos resíduos culturais de soja colhidos com uma colhedora munida de plataforma com 14 pés de largura (4,2 m). A cultura possuía uma quantidade média de palha de 4,6 Mg ha<sup>-1</sup>. Concluíram que houve uma distribuição muito irregular de

palha, pelo picador-distribuidor da colhedora, a qual variou de 2 a 12 Mg ha<sup>-1</sup>, com distribuição em 60 a 80% da superfície, na largura da plataforma, mesmo empregando-se as melhores regulagens no referido sistema.

A área da seção transversal dos sulcos (cm<sup>2</sup>) foi convertida em m<sup>2</sup> e multiplicada por 25.000 para obter-se o volume de solo mobilizado (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) pelo sulcador de adubo da semeadora-adubadora (Apêndice 8). O fator 25.000 corresponde à área de um hectare (10.000 m<sup>2</sup>) dividida pelo espaçamento entre-linhas (0,4 m). Na prática, multiplicou-se os valores de área da seção transversal dos sulcos (cm<sup>2</sup>) por 2,5 para se obter os valores de volume de solo mobilizado pelo sulcador de adubo da semeadora-adubadora, em m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.

O volume de solo mobilizado foi em média 58% maior que aquele observado por Herzog (2003) nesta mesma área experimental, quando o experimento foi instalado. A provável explicação para este comportamento é a quantidade de raízes de gramíneas presentes inicialmente na área, quando esta ainda era campo nativo, o que implicou em uma menor mobilização do solo.

**Tabela 5.** Valores médios de área da seção dos sulcos (cm<sup>2</sup>) na operação de semeadura da soja, nos tratamentos avaliados.

Doses de resíduos (Mg ha <sup>-1</sup> )	Profundidade efetiva do sulcador		Médias <sup>1</sup>
	0,064 m	0,100 m	
0	54,9	73,3	64,1
2	47,5	66,4	56,9
3	48,5	80,5	64,5
4	42,3	67,8	55,0
5	45,3	59,7	52,5
6	50,7	63,6	57,1
Médias <sup>1</sup>	48,2 B	68,5 A	58,4

C.V Resíduos: 18,96% C.V Profundidades: 21,98%

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05%).

#### 4.5 Força de tração na haste sulcadora de adubo

As Tabelas 6 e 7 apresentam os dados referentes à força de tração na haste sulcadora de adubo da semeadora-adubadora, nos locais sem tráfego de maquinário e com tráfego dos rodados do trator nas safras anteriores, nas profundidades de atuação do sulcador de adubo de 0,064 m e 0,100 m, respectivamente.

Na Tabela 6, quando o sulcador operou a 0,064 m de profundidade, houve uma diferença de 87% na força de tração medida no sulcador de adubo da semeadora, entre os locais com tráfego e sem tráfego. Quando o sulcador operou a 0,100 m de profundidade (Tabela 7), a força de tração na haste sulcadora de adubo da semeadora praticamente dobrou (98%) nos locais de tráfego dos rodados do trator, em relação aos locais sem tráfego.

Esta diferença é decorrente da demanda de maior energia para mobilização do solo nos locais sob tráfego, os quais apresentam valores mais elevados de densidade do solo, bem como um maior estado de compactação, em relação aos locais sem tráfego (Tabela 3).

Nas duas profundidades de atuação do sulcador de adubo, 0,064 m e 0,100 m, a força de tração não foi influenciada pelas doses de resíduos sobre a superfície do solo.

Resultados semelhantes foram encontrados em trabalhos de Cepik et al. (2002a), Cepik et al. (2003b) e Silva et al. (2004a), que observaram maiores valores de força de tração com o aumento da profundidade de atuação das hastes sulcadoras, devido à maior mobilização do solo.

As massas de resíduos também não influenciaram a força de tração nos ensaios de Cepik et al. (2002a), Cepik et al. (2003b) e Pinheiro Neto et al. (2004), mas este último autor observou diferenças na força de tração demandada, em função do tipo de cobertura e seu manejo.

**Tabela 6.** Valores médios de força de tração (N) na haste sulcadora de adubo a profundidade de 0,064 m, na operação de semeadura da soja, nos tratamentos avaliados.

Doses de resíduos (Mg ha <sup>-1</sup> )	Tráfego controlado		Médias
	Sem Tráfego	Com Tráfego	
0	432	868	650
2	469	912	691
3	445	832	638
4	462	811	636
5	449	796	622
6	454	857	656
Médias <sup>1</sup>	452 B	846 A	649

C.V Resíduos: 18,96% C.V Profundidades: 21,98%

<sup>1</sup> Médias seguidas de letras maiúsculas diferentes na linha diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05%)

**Tabela 7.** Valores médios de força de tração (N) na haste sulcadora de adubo a profundidade de 0,100 m, na operação de semeadura da soja, nos tratamentos avaliados.

Doses de resíduos (Mg ha <sup>-1</sup> )	Tráfego controlado		Médias <sup>1</sup>
	Sem Tráfego	Com Tráfego	
0	1128	2412	1770
2	1093	2140	1617
3	1077	2203	1640
4	1079	2072	1576
5	1077	2003	1540
6	1063	2060	1562
Médias <sup>1</sup>	1086 B	2148 A	1617

C.V Resíduos: 18,96% C.V Profundidades: 21,98%

<sup>1</sup> Médias seguidas de letras maiúsculas diferentes na linha diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05%)

Pelo fato das doses de resíduos não terem influenciado significativamente a força de tração na haste sulcadora de adubo da semeadora-adubadora, avaliou-se a influência do tráfego controlado e a profundidade de atuação do sulcador de adubo sobre esta variável. Na Tabela 8, na média das profundidades de atuação do sulcador de adubo, verificou-se que a força de tração foi 95% maior nos locais trafegados, enquanto na média dos locais com tráfego e sem tráfego, houve um aumento de 150% na força de tração demandada, quando a profundidade de atuação do sulcador de adubo passou de 0,064 m para 0,100 m.

Como já referido, a maior demanda de força de tração nos locais de tráfego deveu-se a condição física do solo (densidade do solo e resistência à penetração) que conferiu maior resistência ao sulcamento (penetração do sulcador e ruptura do solo).

A maior força de tração pelo aumento da profundidade de atuação do sulcador deveu-se à maior área e maior volume de solo mobilizado (Tabela 5 e Apêndice 8).

Tullberg (2000) também observou aumentos na força de tração demandada nas hastes do implemento, quando a mobilização do solo foi efetuada nos locais de tráfego dos rodados de máquinas, em relação a locais não trafegados. Nos locais de tráfego dos rodados do implemento, o aumento foi de 80% na força de tração nas hastes, enquanto que nos locais de passagem dos rodados do trator, a demanda na força de tração aumentou em 100%, em relação aos locais não trafegados.

**Tabela 8.** Valores médios de força de tração (N) na haste sulcadora de adubo na operação de semeadura da soja, nos tratamentos avaliados.

Profundidade efetiva do sulcador	Tráfego controlado		Médias <sup>1</sup>
	Sem Tráfego	Com Tráfego	
0,064 m	452	846	649 b
0,100 m	1086	2148	1617 a
Médias <sup>1</sup>	769 B	1497 A	1133

C.V Resíduos: 18,96% C.V Profundidades: 21,98%

<sup>1</sup> Médias seguidas de letras diferentes maiúsculas na linha e minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05%).

#### 4.6 Força de tração específica

A força de tração específica refere-se à força de tração demandada na haste sulcadora de adubo da semeadora-adubadora relacionada à área da seção transversal do sulco mobilizado pela mesma.

Com o sulcador de adubo da semeadora-adubadora operando a 0,064 m e 0,100 m, a força de tração específica não foi influenciada pelas doses de resíduos empregados (Tabelas 9 e 10), mas houve diferenças significativas entre os locais com tráfego e sem tráfego dos rodados do trator.

Na profundidade de atuação do sulcador de adubo de 0,064 m, o aumento na força de tração específica foi de 90%, e na profundidade de 0,100m, 96%, nos locais com tráfego dos rodados do trator, em relação aos locais onde não ocorreu tráfego durante os quatro anos de uso com culturas anuais. A maior demanda de força de tração específica nos locais de tráfego deveu-se à maior resistência do solo ao sulcamento.

**Tabela 9.** Valores médios de força de tração específica (N cm<sup>-2</sup>) na haste sulcadora de adubo a profundidade de 0,064 m, na operação de semeadura da soja, nos tratamentos avaliados.

Doses de resíduos (Mg ha <sup>-1</sup> )	Tráfego controlado		Médias <sup>1</sup>
	Sem Tráfego	Com Tráfego	
0	6,18	12,42	9,30
2	6,86	14,11	10,49
3	5,37	10,08	7,73
4	6,91	12,02	9,47
5	7,91	14,26	11,09
6	7,15	13,71	10,43
Médias <sup>1</sup>	6,73 B	12,77 A	9,75

C.V Resíduos: 18,96% C.V Profundidades: 21,98%

<sup>1</sup> Médias seguidas de letras maiúsculas diferentes na linha diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05%)

**Tabela 10.** Valores médios de força de tração específica (N cm<sup>-2</sup>) na haste sulcadora de adubo a profundidade de 0,100 m, na operação de semeadura da soja, nos tratamentos avaliados.

Doses de resíduos (Mg ha <sup>-1</sup> )	Tráfego controlado		Médias <sup>1</sup>
	Sem Tráfego	Com Tráfego	
0	19,51	42,07	30,79
2	24,72	47,91	36,32
3	23,21	46,98	35,10
4	26,77	51,42	39,10
5	25,30	47,21	36,26
6	24,14	45,68	34,91
Médias <sup>1</sup>	23,94 B	46,88 A	35,41

C.V Resíduos: 18,96% C.V Profundidades: 21,98%

<sup>1</sup> Médias seguidas de letras maiúsculas diferentes na linha diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05%)

Conforme pode ser observado na Tabela 11, na média das profundidades de atuação do sulcador de adubo, houve diferença significativa na força de tração específica entre os locais trafegados e sem tráfego dos rodados do trator, da ordem de 93%. Porém, na média das zonas de solo trafegadas com os rodados do trator e sem tráfego, esta diferença foi de 260%, quando a profundidade de atuação do sulcador passou de 0,064 m para 0,100 m. Isto deveu-se ao aumento proporcionalmente muito maior na força de tração (150% - Tabela 8), em relação ao acréscimo da área mobilizada na seção transversal do sulco (42% - Tabela 5), quando o sulcador operou na profundidade de 0,100 m.

Bianchini et al. (1999) também encontrou resultados semelhantes, avaliando o desempenho de um escarificador de hastes parabólicas. A resistência específica do solo apresentou um comportamento quadrático, enquanto que a área de solo mobilizada variou linearmente, em função da profundidade de preparo.

**Tabela 11.** Valores médios de força de tração específica (N cm<sup>-2</sup>) na haste sulcadora de adubo, na operação de semeadura da soja, nos tratamentos avaliados.

Profundidade efetiva do sulcador	Tráfego controlado		Médias <sup>1</sup>
	Sem Tráfego	Com Tráfego	
0,064 m	6,73	12,77	9,75 b
0,100 m	23,94	46,88	35,41 a
Médias <sup>1</sup>	15,34 B	29,82 A	22,58

C.V Resíduos: 18,96% C.V Profundidades: 21,98%

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05%).



#### 4.7 Número de plantas de soja aos 21 dias após a semeadura

O número de plantas de soja emergidas após a semeadura atingiu a população de 300.000 plantas ha<sup>-1</sup>, embora as recomendações técnicas para a cultura da soja indiquem um número de plantas de soja em torno de 400.000 plantas ha<sup>-1</sup> ou 40 plantas m<sup>-2</sup>, com variações de 20 a 25% nesse número, para mais ou para menos. Porém, segundo REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 2003, não há alteração significativa da produtividade de grãos para a maioria dos casos, desde que as plantas de soja estejam uniformemente distribuídas. Para o cálculo de densidade de semeadura, considerou-se poder germinativo de 90%, pureza de 80% e índice de sobrevivência de 80%, o que resultou em 21 sementes por metro, ou 525.000 sementes ha<sup>-1</sup>. Nas Tabelas 12 e 13 são apresentados os valores do número de plantas de soja nos tratamentos, aos 21 dias após a semeadura, ou seja, estágio V2 da cultura, nos experimentos irrigado e não irrigado, respectivamente.

Verifica-se que as doses de resíduos, no experimento irrigado, afetaram a população de plantas de soja, enquanto no experimento não irrigado não houve influência.

As profundidades do sulcador de adubo não alteraram significativamente a população de plantas de soja, tanto no experimento irrigado quanto no experimento não irrigado.

O número de plantas emergidas no experimento não irrigado foi, em média, 5% maior em relação ao experimento não irrigado. A explicação para esta diferença encontra-se no teor de água do solo no momento da semeadura. Os teores de água do solo no dia da semeadura, no experimento irrigado e não irrigado, eram 0,155 kg kg<sup>-1</sup> e 0,161 kg kg<sup>-1</sup>, respectivamente, e embora tenha ocorrido uma precipitação de 60 mm dois dias após a semeadura (Apêndice 9), a diferença de umidade inicial pode ter proporcionado melhor emergência no experimento não irrigado.

Uma provável causa destas diferenças pode ter sido o fato das sementes de soja não terem sido tratadas com produtos fungicidas, o que aliado ao alto teor de água no período compreendido entre o momento da

semeadura e a emergência das plântulas, pode ter propiciado um ataque de fungos, especialmente considerando a condição de semeadura direta.

Herzog et al. (2002b) observaram que a emergência de plantas de soja não foi afetada pela profundidade de atuação do sulcador de adubo, nem pelas doses de resíduos de aveia preta sobre a superfície do solo.

Bortolotto et al. (2002) concluíram que o menor grau de compactação do solo no preparo convencional proporcionou melhor emergência da soja.

**Tabela 12.** Número de plantas de soja por hectare, aos 21 dias após a semeadura, no experimento irrigado, nos tratamentos avaliados.

Doses de resíduos (Mg ha <sup>-1</sup> )	Profundidade efetiva do sulcador		Médias <sup>1</sup>
	0,064 m	0,100 m	
0	260.000	275.000	267.000 b
2	291.000	287.000	289.000 ab
3	260.000	267.000	264.000 b
4	295.000	295.000	295.000 ab
5	271.000	310.000	291.000 ab
6	298.000	322.000	310.000 a
Médias <sup>1</sup>	279.000 A	293.000 A	286.000

C.V Resíduos: 7,14% C.V Profundidades: 9,49%

<sup>1</sup> Médias seguidas de letras diferentes maiúsculas na linha e minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05%).

**Tabela 13.** Número de plantas de soja por hectare, aos 21 dias após a semeadura, no experimento não irrigado, nos tratamentos avaliados.

Doses de resíduos (Mg ha <sup>-1</sup> )	Profundidade efetiva do sulcador		Médias <sup>1</sup>
	0,064 m	0,100 m	
0	283.000	275.000	279.000
2	295.000	326.000	310.000
3	353.000	337.000	345.000
4	333.000	302.000	318.000
5	264.000	275.000	269.000
6	275.000	298.000	287.000
Médias <sup>1</sup>	300.000	302.000	301.000

C.V Resíduos: 15,70% C.V Profundidades: 9,80%

<sup>1</sup> Ausência de letras após as médias indica que as mesmas não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05%)

#### 4.8 Estatura de plantas de soja aos 45 dias após a semeadura

Nas Tabelas 14 e 15 são apresentados os valores de estatura de plantas de soja aos 45 dias após a semeadura, ou seja, estágio de

desenvolvimento V5, nos experimentos irrigado e não irrigado, respectivamente.

Verifica-se que nos dois experimentos avaliados não houve diferenças entre os tratamentos doses de resíduos e profundidade do sulcador.

No entanto, no estágio V5 já foi possível constatar uma diferença média de 0,03 m a mais na estatura de plantas de soja no experimento irrigado, na média de todos os tratamentos, sem ter sido aplicada nenhuma irrigação suplementar. A diferença de estatura de plantas, entre o experimento irrigado e o não irrigado, pode ser explicada pela possibilidade de menor disponibilidade de água para as plantas devido ao maior estado de compactação do solo no experimento não irrigado, constatado por valores mais elevados de resistência à penetração e de densidade do solo (Tabela 3).

**Tabela 14.** Estatura média de plantas de soja (m) aos 45 dias após a semeadura, no experimento irrigado, nos tratamentos avaliados.

Doses de resíduos (Mg ha <sup>-1</sup> )	Profundidade efetiva do sulcador		Médias <sup>1</sup>
	0,064 m	0,100 m	
0	0,33	0,34	0,34
2	0,34	0,35	0,35
3	0,36	0,34	0,35
4	0,36	0,36	0,36
5	0,34	0,34	0,34
6	0,32	0,34	0,33
Médias <sup>1</sup>	0,34	0,35	0,34

C.V Resíduos: 5,51% C.V Profundidades: 4,24%

<sup>1</sup> Ausência de letras após as médias indica que as mesmas não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05%)

**Tabela 15.** Estatura média de plantas de soja (m) aos 45 dias após a semeadura, no experimento não irrigado, nos tratamentos avaliados.

Doses de resíduos (Mg ha <sup>-1</sup> )	Profundidade efetiva do sulcador		Médias <sup>1</sup>
	0,064 m	0,100 m	
0	0,30	0,33	0,31
2	0,30	0,31	0,31
3	0,32	0,33	0,32
4	0,30	0,31	0,31
5	0,30	0,32	0,31
6	0,31	0,31	0,31
Médias <sup>1</sup>	0,30	0,32	0,31

C.V Resíduos: 5,78% C.V Profundidades: 4,72%

<sup>1</sup> Ausência de letras após as médias indica que as mesmas não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05%)

#### **4.9 Estatura de plantas de soja aos 90 dias após a semeadura**

A exemplo do verificado aos 45 dias após a semeadura (estádio V5), a estatura média das plantas de soja aos 90 dias após a semeadura (estádio R5), não foi afetada pelos tratamentos doses de resíduos e profundidade do sulcador de adubo da semeadora-adubadora. No entanto, verifica-se que, na média de todos os tratamentos, no experimento irrigado as plantas possuíam 0,22 m de estatura a mais do que as plantas do experimento não irrigado (Tabelas 16 e 17, respectivamente).

A diferença entre as estaturas médias de planta para todos os tratamentos, nos experimentos irrigado e não irrigado, pode ser explicada pela utilização da irrigação suplementar (72 mm, em três irrigações), além da possibilidade de menor disponibilidade de água para as plantas devido ao maior estado de compactação do solo no experimento não irrigado, já comentado anteriormente.

Thomas & Costa (1994) também observaram maiores valores de estatura de plantas de soja no tratamento irrigado, em relação ao tratamento não irrigado, em períodos de deficiência hídrica.

A estatura de plantas de soja, ao longo do seu desenvolvimento, pode variar em função de competição com plantas invasoras, arranjo de população de plantas, diferenças de fertilidade do solo, entre outros.

Saraiva (2004) constatou diferenças significativas na estatura de plantas de soja, em função do manejo de plantas daninhas e do espaçamento entre fileiras.

Reis et al. (1977) constataram efeito altamente significativo sobre a estatura de plantas de soja em função da densidade de plantas.

Segundo Câmara (1998) e Martins et al. (1999), alterando-se a densidade de semeadura, altera-se a densidade de plantas na linha, de maneira que, por meio do manejo populacional modifica-se a estatura da planta.

**Tabela 16.** Estatura média de plantas de soja (m) aos 90 dias após a semeadura, no experimento irrigado, nos tratamentos avaliados.

Doses de resíduos (Mg ha <sup>-1</sup> )	Profundidade efetiva do sulcador		Médias <sup>1</sup>
	0,064 m	0,100 m	
0	1,17	1,15	1,16
2	1,21	1,21	1,21
3	1,27	1,19	1,23
4	1,25	1,22	1,24
5	1,23	1,24	1,23
6	1,19	1,20	1,20
Médias <sup>1</sup>	1,22	1,20	1,21

C.V Resíduos: 4,01% C.V Profundidades: 1,48%

<sup>1</sup> Ausência de letras após as médias indica que as mesmas não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05%)**Tabela 17.** Estatura média de plantas de soja (m) aos 90 dias após a

Doses de resíduos (Mg ha <sup>-1</sup> )	Profundidade efetiva do sulcador		Médias <sup>1</sup>
	0,064 m	0,100 m	
0	0,88	0,95	0,92
2	0,93	0,93	0,93
3	1,00	1,00	1,00
4	1,01	1,03	1,02
5	1,03	1,02	1,02
6	1,02	1,01	1,02
Médias <sup>1</sup>	0,98	0,99	0,99

semeadura, no experimento não irrigado, nos tratamentos avaliados.

C.V Resíduos: 8,9% C.V Profundidades: 4,5%

<sup>1</sup> Ausência de letras após as médias indica que as mesmas não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05%)

No estágio R5, ocorrem vários eventos importantes na cultura da soja, tais como: a planta alcança sua máxima estatura, define o número de nós e o índice de área foliar, ocorre a maior taxa de fixação biológica de nutrientes (a qual logo começa a cair abruptamente), e as sementes iniciam um período rápido de acumulação de matéria seca e de nutrientes (Baigorri et al., 2000). Neste período, a necessidade de água pela soja é de 6 a 8 mm dia<sup>-1</sup> (Berlato et al., 1986).

#### 4.10 Produtividade de grãos de soja

A produtividade de grãos de soja não foi influenciada pelos tratamentos doses de resíduos e profundidade de atuação do sulcador de adubo da semeadora-adubadora, quando foi aplicada irrigação suplementar (Tabela 18). No experimento não irrigado (Tabela 19), houve diferença

significativa em função do grau de mobilização do solo, ou seja, pelos tratamentos profundidades de atuação do sulcador de adubo. Na média dos tratamentos das doses de resíduos, houve um acréscimo, significativo, de  $180 \text{ kg ha}^{-1}$  de grãos (10%) a mais na maior profundidade de atuação do sulcador de adubo. Estes  $180 \text{ kg ha}^{-1}$  de grãos (3 sacos de soja  $\text{ha}^{-1}$ ) contabilizados a preços atuais (R\$ 30,00 por saco), possibilitaria comprar 60 litros de diesel a mais por hectare (R\$ 1,50 por litro de diesel), o que cobriria o maior gasto decorrente da maior força de tração demandada pela semeadora para atuar a 0,100 m de profundidade (Tabela 8), e ainda resultaria em lucro.

No entanto, na média geral dos tratamentos aplicados, houve uma diferença de  $1.020 \text{ kg ha}^{-1}$  de grãos (17 sacos de soja  $\text{ha}^{-1}$ ) que equivalem à R\$ 510,00 a preço atual, a favor do experimento irrigado, em relação ao experimento sem irrigação suplementar (Tabelas 18 e 19).

Embora não tenha sido efetuado um cálculo econômico detalhado, pode-se deduzir que a diferença de dezessete sacos de soja por hectare (R\$ 510,00 ou US\$ 212,00), obtidos a mais no experimento irrigado, seria o suficiente para cobrir os custos com a irrigação, estimados em US\$  $100,00 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , em média, ou R\$ 263,52 de custo total médio com a irrigação, considerando 36 horas de uso de um sistema autopropelido convencional, ao custo de R\$ 7,32 por hora (custos fixos e variáveis) (Embrapa, 2003).

Ainda analisando as Tabelas 18 e 19, nota-se que a produtividade média de grãos no experimento irrigado foi de  $2.960 \text{ kg ha}^{-1}$ , ou 49 sacos de soja  $\text{ha}^{-1}$ , produtividade esta compatível com o potencial médio de produção da variedade, estimada em  $3.031 \text{ kg ha}^{-1}$  (Bonato, 2001). No experimento sem irrigação complementar, a produtividade de grãos foi de  $1.940 \text{ kg ha}^{-1}$  (32 sacos de soja  $\text{ha}^{-1}$ ). Apesar de ser menor do que a obtida no experimento irrigado, o valor não difere da produtividade média do Estado do Rio Grande do Sul no período 1990-2003, que é de  $1.800 \text{ kg ha}^{-1}$  (30 sacos de soja  $\text{ha}^{-1}$ ), segundo estatísticas do Ministério da Agricultura (BRASIL, 2003).

Em relação ao efeito da irrigação suplementar sobre a produtividade adicional de grãos de soja, observa-se que no experimento irrigado as plantas de soja, aos 90 dias após a semeadura (estádio R5), apresentavam estatura 0,22 m maior do que no experimento não irrigado (Tabelas 16 e 17), sendo que

as irrigações começaram a ser aplicadas ainda na fase vegetativa da cultura da soja (Apêndice 9), e estenderam-se até a maturação da cultura (estádio R8), totalizando 216 mm aplicados em oito irrigações, cinco destas coincidentes com o período crítico, que se estende do início do florescimento (R1) ao estágio de vagem cheia (R6).

Embora a deficiência hídrica durante o período reprodutivo ocasione as maiores reduções na produtividade da planta de soja, a deficiência de umidade durante o período vegetativo também é altamente prejudicial, pois afeta os processos de fixação biológica de nutrientes, produção de área foliar e assimilação de dióxido de carbono, bem como promove o murchamento de folhas e o fechamento de estômatos, o que diminui a capacidade fotossintética da planta, e por consequência, a produção de matéria seca (Bonato, 2000).

No período reprodutivo, a falta de umidade aumenta o abortamento de flores e de vagens, e diminui a fixação biológica de nutrientes, o acúmulo de matéria seca e a produtividade de grãos. No estágio R5, a disponibilidade de água é crucial, porque metade dos nutrientes necessários para o enchimento de grãos são translocados de outras partes da planta, mas a outra metade vem do solo e da fixação biológica de nutrientes, e para tal é necessário que o solo esteja úmido (Bonato, 2000).

A temperatura média variou de 16,8 a 26,3 °C durante o ciclo da cultura, situando-se na média em 22 °C (Apêndice 9). De maneira geral, o regime térmico não é limitante para o rendimento de grãos, nas principais regiões de produção de soja no Rio Grande do Sul. Tanto para temperatura do ar (Berlato et al., 1992; Barni, 1999), quanto a temperatura do solo, no período de semeadura atualmente indicado (outubro a dezembro), superam o valor mínimo de 18 °C, recomendado por Costa (1996) como suficiente para permitir uma emergência rápida e uniforme de plântulas.

A soja pode ser considerada uma cultura tolerante à deficiência hídrica, por possuir período de florescimento longo, permitindo que escape de secas de curta duração, compensando a perda de flores ou legumes com o aparecimento de flores tardias por ocasião de condições mais adequadas de umidade no solo (Mota, 1983).

No entanto, a deficiência hídrica submete a planta de soja a um estresse que se manifesta na forma de baixa estatura, folhas pequenas e

murchas, entrenós curtos, redução na taxa de crescimento da cultura, menor índice de área foliar, menor taxa de expansão foliar, menor duração da área foliar, atividade fotossintética menos intensa, prejuízos à fixação de nitrogênio e, por influir no metabolismo geral da planta, acaba afetando negativamente a produtividade de grãos (Confalone et al., 1998; Desclaux et al., 2000; Neumaier et al., 2000).

Secas durante o período reprodutivo (pós-florescimento) causam reduções drásticas na produtividade de grãos, devido ao maior abortamento de flores e de legumes, menor período de florescimento, menor número de grãos por legume, menor período de enchimento de grãos, diminuição da qualidade de grãos e aceleração da senescência foliar. Estas perdas, em algumas ocasiões, acabam não sendo compensadas pelo número de grãos por legume e pelo peso do grão, pois esses componentes do rendimento possuem limites máximos determinados geneticamente (Sionit & Kramer, 1977; De Souza et al., 1997; Confalone & Dujmovich, 1999; Desclaux et al., 2000; Neumaier et al., 2000).

Herzog (2003) verificou maiores produtividades de grãos no experimento irrigado, em relação ao não irrigado, sem diferenças significativas nos tratamentos doses de resíduos e profundidade de atuação do sulcador de adubo.

Thomas & Costa (1994) também observaram que o maior índice de área foliar e o maior período de enchimento de grãos proporcionaram maior produtividade de grãos por planta de soja no tratamento irrigado, em relação ao tratamento não irrigado.

Peixoto et al. (2002b) constataram que a sensibilidade à deficiência hídrica das plantas de soja avaliadas aumentou da fase de desenvolvimento vegetativo para a fase de florescimento, e principalmente, para a fase de enchimento de grão.



**Tabela 18.** Produtividade média de grãos de soja ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ), no experimento irrigado, nos tratamentos avaliados.

Doses de resíduos ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )	Profundidade efetiva do sulcador		Médias <sup>1</sup>
	0,064 m	0,100 m	
0	2,80	3,17	2,99
2	3,16	3,34	3,25
3	3,08	2,80	2,94
4	2,79	2,68	2,74
5	2,69	3,01	2,85
6	2,75	3,20	2,98
Médias <sup>1</sup>	2,88	3,03	2,96

C.V Resíduos: 16,75% C.V Profundidades: 14,16%

<sup>1</sup> Ausência de letras após as médias indica que as mesmas não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05\%$ )**Tabela 19.** Produtividade média de grãos de soja ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ), no experimento não irrigado, nos tratamentos avaliados.

Doses de resíduos ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )	Profundidade efetiva do sulcador		Médias <sup>1</sup>
	0,064 m	0,100 m	
0	1,45	2,12	1,78
2	1,75	1,81	1,78
3	1,87	1,87	1,87
4	1,68	2,02	1,85
5	2,24	2,19	2,22
6	2,12	2,17	2,15
Médias <sup>1</sup>	1,85 B	2,03 A	1,94

C.V Resíduos: 22,81% C.V Profundidades: 11,91%

<sup>1</sup> Médias seguidas de letras maiúsculas diferentes na linha diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05\%$ )

Outro fator que poderia explicar a diferença entre as produtividades dos experimentos irrigado e não irrigado seria o número de plantas de soja à época da colheita. Analisando os dados das Tabelas 20 e 21, verifica-se que houve uma pequena diferença (3%) a mais de plantas de soja no experimento irrigado, o que, por si só, não seria suficiente para explicar a diferença de 17 sacos de soja  $\text{ha}^{-1}$  na produtividade de grãos, verificada entre as áreas irrigada e não irrigada.

Rambo et al. (2002) verificaram que o arranjo de plantas que resultou no maior produtividade de grãos foi a associação entre espaçamento de 0,20 m entre linhas e população de 20 plantas  $\text{m}^{-2}$ , com decréscimo linear na produtividade com o aumento da população de plantas neste espaçamento.

Heiffig (2002) concluiu que para cada combinação entre o espaçamento entre linhas e a densidade de plantas na linha existe uma população de plantas ajustada, que possibilita maior produtividade de grãos.

**Tabela 20.** Número de plantas de soja por hectare, na época da colheita, no experimento irrigado, nos tratamentos avaliados.

Doses de resíduos (Mg ha <sup>-1</sup> )	Profundidade efetiva do sulcador		Médias <sup>1</sup>
	0,064 m	0,100 m	
0	159.000	206.000	183.000
2	184.000	201.000	193.000
3	212.000	168.000	190.000
4	212.000	166.000	189.000
5	218.000	200.000	209.000
6	221.000	237.000	229.000
Médias <sup>1</sup>	201.000	196.000	199.000

<sup>1</sup> Ausência de letras após as médias indica que as mesmas não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05%)

**Tabela 21.** Número de plantas de soja por hectare, na época da colheita, no experimento não irrigado, nos tratamentos avaliados.

Doses de resíduos (Mg ha <sup>-1</sup> )	Profundidade efetiva do sulcador		Médias <sup>1</sup>
	0,064 m	0,100 m	
0	145.000	188.000	168.000
2	174.000	195.000	184.000
3	195.000	180.000	187.000
4	171.000	197.000	185.000
5	226.000	243.000	234.000
6	213.000	202.000	207.000
Médias <sup>1</sup>	187.000	201.000	194.000

<sup>1</sup> Ausência de letras após as médias indica que as mesmas não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05%)

#### 4.11 Massa seca da parte aérea da soja

A quantidade de massa seca da parte aérea da cultura da soja, a exemplo da produtividade de grãos, também não foi influenciada pelos tratamentos profundidade do sulcador e doses de resíduos, no experimento com irrigação (Tabela 22).

Na ausência de irrigação (Tabela 23), houve diferença significativa de massa seca da parte aérea, na ordem de 480 kg ha<sup>-1</sup> (15%) a favor da maior profundidade de atuação do sulcador de adubo, na média dos tratamentos doses de resíduos. Apesar de não haver um benefício monetário que remunere esta maior quantidade de matéria seca produzida, do ponto de vista agrônomo é uma diferença bem expressiva, pois adiciona matéria orgânica ao solo e fornece proteção contra sua mineralização, possibilita a reciclagem de nutrientes e, ao manter uma maior cobertura do solo, previne a erosão hídrica e eólica, além de diminuir a emergência de plantas infestantes e a

amplitude térmica do solo, e aumentar a conservação da umidade na superfície e no perfil do mesmo, ou seja, proporciona melhorias físicas, químicas e biológicas ao solo, desde que manejada adequadamente (Landers, 1995).

Assim como a produtividade de grãos de soja (Tabelas 18 e 19), os valores médios de matéria seca da parte aérea foram maiores no experimento irrigado (Tabelas 22), em relação ao experimento não irrigado (Tabela 23). Na média geral dos tratamentos, houve uma diferença de 2.040 kg ha<sup>-1</sup> de matéria seca da parte aérea (58%) a favor do experimento com irrigação suplementar, em relação ao experimento não irrigado. Esta diferença entre as produções de matéria seca da parte aérea já era esperada, pois as plantas de soja no experimento irrigado, aos 90 dias após a semeadura (estádio R5), apresentavam uma maior estatura (0,22 m a mais) em relação ao experimento não irrigado (Tabelas 16 e 17), além do fato de uma maior produtividade de grãos estar relacionada, de certa forma, a uma maior produtividade de matéria seca da parte aérea.

Esta relação pode ser observada comparando, nas médias gerais dos experimentos, as produções de matéria seca da parte aérea com as produções de grãos de soja: para produzir 1 kg de grãos, foram necessários 1,88 kg de matéria seca da parte aérea, no experimento irrigado, e 1,81 kg de matéria seca da parte aérea, no experimento não irrigado, valores estes bastante semelhantes, o que demonstrou uma proporcionalidade na distribuição de fotoassimilados para a parte aérea da planta (grãos e parte vegetativa), independentemente das restrições ambientais.

A relação massa de grãos/massa de resíduos de parte aérea também pode ter influência na operação de colheita da soja, especificamente, na taxa de alimentação da colhedora. Caso seja mantida uma mesma taxa de alimentação, a quantidade de grãos colhida por tempo será maior na cultura com a maior relação de grãos/palha. Além disso, pode influenciar a quantidade de grãos perdidos na colheita pela colhedora, devendo esta sofrer regulagens específicas em função da relação citada (Pinheiro Neto, 1999).

**Tabela 22.** Valores médios de matéria seca da parte aérea de soja ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ), no experimento irrigado, nos tratamentos avaliados.

Doses de resíduos ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )	Profundidade efetiva do sulcador		Médias <sup>1</sup>
	0,064 m	0,100 m	
0	4,87	5,96	5,41
2	6,66	6,95	6,80
3	5,46	4,83	5,15
4	5,67	5,73	5,70
5	5,06	5,27	5,17
6	4,74	5,42	5,08
Médias <sup>1</sup>	5,41	5,69	5,55

C.V Resíduos: 16,57% C.V Profundidades: 15,15%

<sup>1</sup> Ausência de letras após as médias indica que as mesmas não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05\%$ )**Tabela 23.** Valores médios de matéria seca da parte aérea de soja ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ), no experimento não irrigado, nos tratamentos avaliados.

Doses de resíduos ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )	Profundidade efetiva do sulcador		Médias <sup>1</sup>
	0,064 m	0,100 m	
0	2,98	3,15	3,07
2	2,93	3,52	3,22
3	3,44	4,16	3,80
4	3,47	3,68	3,58
5	3,32	4,09	3,70
6	3,50	3,90	3,70
Médias <sup>1</sup>	3,27 B	3,75 A	3,51

C.V Resíduos: 12,45% C.V Profundidades: 13,36%

<sup>1</sup> Médias seguidas de letras maiúsculas diferentes na linha diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05\%$ )

#### 4.12 Massa seca de raízes de soja na época da colheita

As massas de raízes da cultura da soja, coletadas na época da colheita, na profundidade de 0,12 m, nos tratamentos doses de resíduo e profundidade do sulcador de adubo não apresentaram diferenças significativas nos experimentos irrigado e não irrigado (Tabelas 24 e 25). O experimento não irrigado apresentou, na média geral dos tratamentos, uma diferença de  $770 \text{ kg ha}^{-1}$  de raízes a mais (21%), em relação ao experimento irrigado, apesar da menor produção de massa seca de parte aérea e de grãos. Isso é uma indicação de que diante da menor disponibilidade de água (ausência de irrigação), associada ao maior grau de compactação do solo (Tabela 3), as plantas utilizaram as reservas energéticas para a produção de raízes, na tentativa de compensar esta adversidade, por meio da exploração de uma maior área de solo. O maior estado de compactação do solo, no experimento

não irrigado, além de promover menores armazenamento e disponibilidade de água para as plantas (menor macroporosidade-Tabela 3), pode ocasionar um espessamento no diâmetro das raízes das plantas, o que possibilitaria um aumento em sua massa, e não necessariamente na quantidade, comprimento de raízes, bem como no volume de solo explorado, e efetividade na absorção de água e nutrientes.

Barber (1971) e Adeoye (1982) afirmam que é possível melhor enraizamento com maior mobilização do solo, o que não foi observado nos tratamentos profundidade de atuação do sulcador de adubo, nos experimentos irrigado e não irrigado.

**Tabela 24.** Valores médios de matéria seca de raízes de soja ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ), amostradas na profundidade de 0,00 a 0,12 m, no experimento irrigado, nos tratamentos avaliados.

Doses de resíduos ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )	Profundidade efetiva do sulcador		Médias <sup>1</sup>
	0,064 m	0,100 m	
0	3,97	4,14	4,05
2	1,93	3,57	2,75
3	3,54	2,53	3,03
4	4,00	3,13	3,57
5	4,11	4,48	4,29
6	4,60	4,30	4,45
Médias <sup>1</sup>	3,69	3,69	3,69

C.V Resíduos: 41,93% C.V Profundidades: 36,90%

<sup>1</sup> Ausência de letras após as médias indica que as mesmas não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05\%$ )

**Tabela 25.** Valores médios de matéria seca de raízes de soja ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ), amostradas na profundidade de 0,00 a 0,12 m, no experimento não irrigado, nos tratamentos avaliados.

Doses de resíduos ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )	Profundidade efetiva do sulcador		Médias <sup>1</sup>
	0,064 m	0,100 m	
0	3,35	6,02	4,69
2	3,50	5,37	4,44
3	4,76	4,70	4,73
4	4,48	4,56	4,52
5	3,40	4,05	3,72
6	5,59	3,80	4,69
Médias <sup>1</sup>	4,18	4,75	4,46

C.V Resíduos: 32,61% C.V Profundidades: 36,01%

<sup>1</sup> Ausência de letras após as médias indica que as mesmas não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05\%$ )

Herzog (2003) observou que a massa de raízes da cultura da soja não diferiu entre as profundidades de atuação do sulcador. Com irrigação, não

houve diferença entre os tratamentos de doses de resíduo na profundidade de 0,06 m. Porém, nos tratamentos sem irrigação, houve diferenças significativas: baixas quantidades de resíduos propiciaram maior massa radicular. Quando o sulcador trabalhou a 0,12 m, houve diferença quando usou irrigação, com maior produção de massa radicular nas menores doses de resíduos empregadas; sem irrigação, não houve diferença entre as doses de resíduos.

A distribuição das massas de raízes nas profundidades de amostragem de 0 a 0,06 m, e na profundidades de 0,06 a 0,12 m, encontram-se, respectivamente, nos Apêndices 3 e 4, para experimento irrigado, e Apêndices 5 e 6, para o não irrigado.

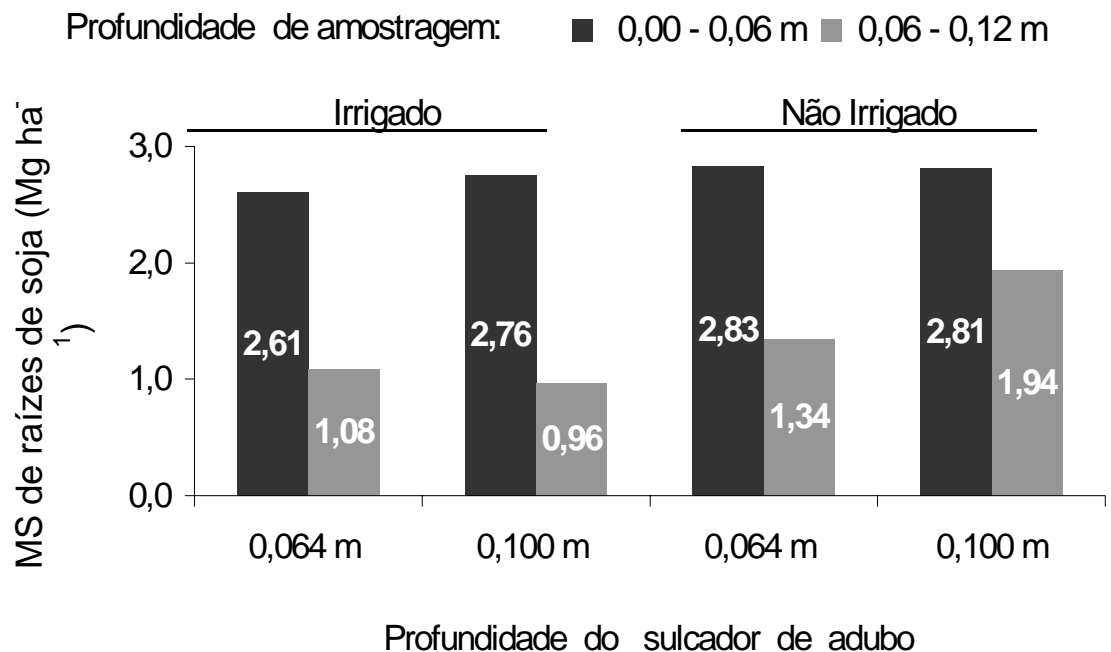
Na média geral dos tratamentos doses de resíduos e profundidade de atuação do sulcador de adubo, na profundidade de amostragem até 0,06 m, houve um acréscimo de 5% na massa de raízes, a favor do experimento não irrigado. Porém, na profundidade de amostragem até 0,06 a 0,12 m, esta diferença na massa de raízes elevou-se para 62% (Apêndices 3, 4, 5 e 6).

Na Figura 6 são apresentados os resultados médios dos tratamentos em função das profundidades de amostragem das raízes e do uso de irrigação suplementar (uma síntese dos Apêndices 3, 4, 5 e 6).

Independentemente da profundidade de atuação do sulcador de adubo, 30% da massa radicular situou-se de 0,06 a 0,12 m de profundidade, quando utilizada irrigação suplementar. No entanto, no experimento não irrigado, na profundidade de 0,06 a 0,12 m, a massa de raízes correspondeu a 32%, na profundidade de atuação do sulcador a 0,064 m, e 41%, na profundidade de atuação do sulcador a 0,100 m, ou seja, no experimento não irrigado, quando o grau de mobilização do solo foi aumentado, a distribuição de raízes no solo também aumentou em profundidade. Esta maior massa radicular em função do aumento do grau de mobilização do solo, no experimento não irrigado, é, provavelmente, decorrente do acréscimo de volume de solo explorado pelas raízes em busca de água, associado ao espessamento das raízes pelo maior estado de compactação do solo com o aumento da profundidade (Tabela 3), e também da maior mobilização do solo.

Faltam estudos relacionando produção de matéria seca da parte aérea, grãos e raízes, especialmente na relação matéria seca da parte aérea/raízes, com períodos de deficiência hídrica.

A massa média de raízes dos tratamentos avaliados, nos experimentos irrigado e não irrigado, variou de 3,7 a 4,8 Mg ha<sup>-1</sup>, na profundidade de 0,00 m a 0,12 m. Apesar de não apresentar valor econômico, agronomicamente a produção de raízes de soja é muito significativa, devido a sua importância pela adição de matéria orgânica no solo, pela baixa relação C/N característica dos tecidos das raízes de soja, ao seu efeito sobre a microbiota do solo, e pela formação de poros biológicos no solo e manutenção da sua continuidade, o que permite o fluxo de gases e de água, e possibilita o desenvolvimento de raízes de culturas subsequentes, principalmente em um sistema onde o adensamento do solo é uma consequência natural do mesmo, e sua mobilização está restrita à linha de semeadura. (Reichert et al., 2003).



**Figura 6.** Valores médios de matéria seca de raízes de soja, em função de diferentes profundidades efetivas de atuação do sulcador de adubo e profundidades de amostragem, nos experimentos irrigado e não irrigado.

#### 4.13 Produção de biomassa da cultura da soja

Em relação à produção de biomassa total da cultura da soja (massas de grãos, parte aérea e raízes até 0,12 m), os tratamentos profundidade do sulcador de adubo e doses de resíduos não apresentaram diferença

significativa, nos experimentos irrigado e não irrigado (Tabelas 26 e 27). Verifica-se uma diferença de 2,3 Mg ha<sup>-1</sup> de biomassa a favor do experimento irrigado, resultado da maior produção de grãos e de matéria seca da parte aérea, embora tenha apresentado uma produção de massa seca de raízes menor em relação ao experimento não irrigado. Estas diferenças são decorrentes da aplicação de 216 mm de água, por meio de irrigação, no período compreendido entre o início do florescimento (estádio R1) até pouco antes da maturação fisiológica dos grãos (estádio R8) (Apêndice 9).

**Tabela 26.** Valores médios de matéria seca (Mg ha<sup>-1</sup>) de raízes, de parte aérea e de grãos de soja, no experimento irrigado, nos tratamentos avaliados.

Doses de resíduos (Mg ha <sup>-1</sup> )	Profundidade efetiva do sulcador		Médias <sup>1</sup>
	0,064 m	0,100 m	
0	11,67	13,28	12,48
2	11,77	13,89	12,83
3	12,08	10,14	11,11
4	12,46	11,71	12,09
5	11,86	12,73	12,30
6	12,09	12,87	12,48
Médias <sup>1</sup>	11,99	12,44	12,21

C.V Resíduos: 14,22% C.V Profundidades: 12,01%

<sup>1</sup> Ausência de letras após as médias indica que as mesmas não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05%)

**Tabela 27.** Valores médios de matéria seca (Mg ha<sup>-1</sup>) de raízes, da parte aérea e de grãos de soja, no experimento não irrigado, nos tratamentos avaliados.

Doses de resíduos (Mg ha <sup>-1</sup> )	Profundidade efetiva do sulcador		Médias <sup>1</sup>
	0,064 m	0,100 m	
0	7,78	11,32	9,55
2	8,17	10,69	9,43
3	10,06	10,73	10,40
4	9,60	10,26	9,93
5	8,91	10,33	9,62
6	11,22	9,87	10,54
Médias <sup>1</sup>	9,29	10,53	9,91

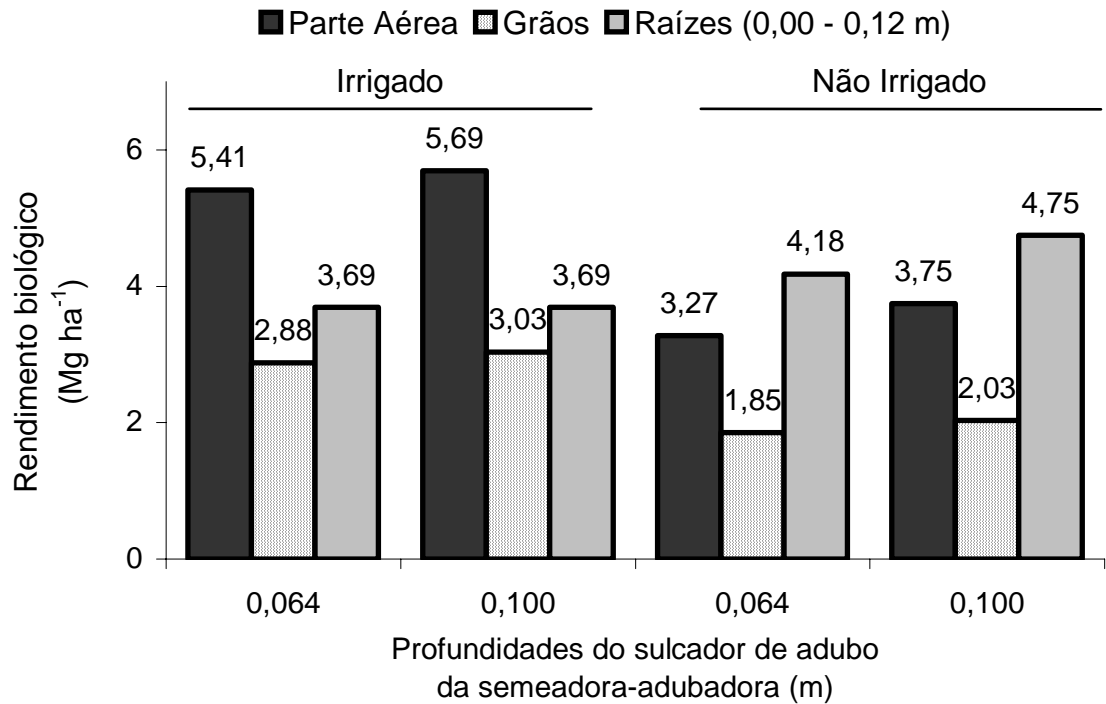
C.V Resíduos: 10,34% C.V Profundidades: 11,48%

<sup>1</sup> Ausência de letras após as médias indica que as mesmas não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05%)

Na Figura 7 encontram-se os valores médios de matéria seca de parte aérea, grãos e raízes de soja (rendimento biológico), nos tratamentos profundidades de atuação do sulcador de adubo, nos experimentos irrigado e não irrigado.



No experimento irrigado não houve efeito na distribuição de matéria seca das diferentes partes da planta (grãos, parte aérea e raízes), quando a profundidade de atuação do sulcador de adubo passou de 0,064 m para 0,100 m. No experimento não irrigado, houve uma maior produção de grãos, parte aérea e raízes quando a profundidade de atuação do sulcador de adubo passou para 0,100 m.



**Figura 7.** Valores médios de matéria seca de parte aérea, grãos e raízes de soja em função de diferentes profundidades efetivas de atuação do sulcador de adubo, nos experimentos irrigado e não irrigado.

Da biomassa total produzida pela cultura da soja, 45%, 24% e 31% corresponderam às massas de matéria seca da parte aérea, de grãos e de matéria seca de raízes até a profundidade de 0,12 m, respectivamente, na média dos tratamentos com irrigação adicional. No experimento não irrigado, essa distribuição foi alterada para 35%, 20% e 45%, respectivamente para as massas de matéria seca da parte aérea, de grãos e de matéria seca de raízes até a profundidade de 0,12 m, o que provavelmente indica que, na falta de umidade adequada para o seu desenvolvimento, a cultura priorizou a produção de raízes, em detrimento da produção de matéria seca de toda a parte aérea (grãos e parte vegetativa).

Em um experimento com população em torno de 100.000 plantas por hectare, Herzog (2003) constatou que da biomassa total produzida pela cultura da soja, 38%, 28% e 34% eram de grãos, massa seca da parte aérea e massa seca de raízes até a profundidade de 15 cm, respectivamente, na média dos tratamentos com e sem irrigação. É provável que a baixa proporção de matéria seca da parte aérea em relação à biomassa total seja, em parte, decorrente da pequena população de plantas estabelecidas à campo. Em relação a biomassa total da cultura da soja (grãos, parte aérea e de raízes até 0,15 m) o autor não observou diferença entre os tratamentos profundidade do sulcador de adubo e doses de resíduos, verificando apenas uma diferença em torno de 1,0 Mg ha<sup>-1</sup> de biomassa a favor do experimento que recebeu irrigação.

#### **4.14 Índice de colheita aparente da cultura da soja**

O rendimento biológico aparente (R<sub>Ba</sub>) representa a quantidade de massa seca acumulada pela parte aérea da planta, e é obtido pela soma da massa seca da parte vegetativa e dos grãos da planta, na maturação fisiológica (estádio R8). O índice de colheita aparente (I<sub>Ca</sub>) expressa a eficiência de translocação dos produtos da fotossíntese para as partes economicamente importantes da planta, e consiste na razão entre a massa da matéria seca de grãos e o rendimento biológico aparente, em porcentagem.

Os tratamentos doses de resíduos e profundidade do sulcador de adubo não influenciaram o índice de colheita aparente nos experimentos com e sem irrigação (Tabelas 28 e 29, respectivamente), apresentando, na média, índice de colheita aparente (I<sub>Ca</sub>) semelhantes, o que demonstra que a deficiência de umidade no experimento sem irrigação não influenciou na eficiência de translocação dos produtos da fotossíntese para os grãos, quando comparado com o experimento irrigado, apesar das produtividades distintas (Tabelas 18 e 19).

Thomas & Costa (1994) observaram que a deficiência hídrica promoveu um índice de colheita aparente mais elevado nas plantas do tratamento irrigado, em relação àquele verificado nas plantas do tratamento sem irrigação.

Peixoto et al (2002a) encontraram diferenças no índice de colheita aparente em variedades de soja submetidas à deficiência hídrica em três fases fenológicas da planta. Concluíram que as cultivares estudadas possuem sensibilidade diferenciada à deficiência hídrica nas diversas fases fenológicas.

Saraiva (2004) verificou diferença significativa no índice de colheita aparente de plantas de soja em função do espaçamento entre fileiras, resultado este também observado por Heiffig (2002), com plantas de soja em diferentes arranjos espaciais.

**Tabela 28.** Valores médios do índice de colheita aparente (%), no momento da colheita da soja (estádio R8) no experimento irrigado, nos tratamentos avaliados.

Doses de resíduos (Mg ha <sup>-1</sup> )	Profundidade efetiva do sulcador		Médias <sup>1</sup>
	0,064 m	0,100 m	
0	38,7	37,0	37,8
2	34,2	34,6	34,4
3	39,2	39,0	39,1
4	35,0	33,9	34,4
5	36,9	38,5	37,7
6	39,2	39,5	39,4
Médias <sup>1</sup>	37,2	37,1	37,1

C.V Resíduos: 15,08% C.V Profundidades: 14,30%

<sup>1</sup> Ausência de letras após as médias indica que as mesmas não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05%)

**Tabela 29.** Valores médios do índice de colheita aparente (%), no momento da colheita da soja (estádio R8) no experimento não irrigado, nos tratamentos avaliados.

Doses de resíduos (Mg ha <sup>-1</sup> )	Profundidade efetiva do sulcador		Médias <sup>1</sup>
	0,064 m	0,100 m	
0	33,0	41,9	37,5
2	37,8	34,5	36,1
3	36,4	32,2	34,3
4	33,6	36,6	35,1
5	42,2	36,1	39,2
6	39,1	37,2	38,1
Médias <sup>1</sup>	37,0	36,4	36,7

C.V Resíduos: 16,11% C.V Profundidades: 12,92%

<sup>1</sup> Ausência de letras após as médias indica que as mesmas não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05%)

#### 4.15 Componentes de rendimento da cultura da soja

A determinação dos componentes de rendimento da soja podem ser úteis para explicar causas das diferenças de produtividade de grãos obtidas, ou seja, através da divisão e avaliação isolada dos componentes que determinam

a produtividade da cultura, é possível definir a contribuição relativa de cada componente de rendimento, e determinar a causa da diferença na produtividade da cultura.

Os componentes de rendimento da cultura da soja avaliados nos experimentos irrigado e não irrigado estão apresentados nas Tabelas 30 a 37. Foram avaliados o número médio de legumes por planta de soja, o número médio de grãos de soja por legume, o número médio de grãos por planta de soja, e a produção média de grãos por planta de soja. Para a massa de 100 grãos, foi determinada somente a média geral em cada experimento, que correspondeu a 19,89 g no irrigado, e 18,39 g no sem irrigação, ou seja, uma diferença de 8% a favor do experimento com irrigação.

O número médio de legumes por planta de soja não diferiu entre os tratamentos profundidade do sulcador de adubo e doses de resíduos, nos experimentos irrigado e não irrigado (Tabelas 30 e 31).

Na média geral dos tratamentos profundidade do sulcador e doses de resíduos, o experimento com irrigação complementar apresentou 10 legumes a mais por planta de soja (37%) em relação ao experimento não irrigado, devido ao suprimento de água adicional. No experimento não irrigado, deficiências hídricas ocorridas no período crítico que se estende do início do florescimento (estádio R1) ao enchimento de grãos (estádio R8) (Apêndice 9) promoveram uma menor estatura de plantas de soja aos 90 dias após a semeadura (Tabelas 16 e 17), bem como restringiram a produção de matéria seca da parte aérea (Tabelas 22 e 23) e a produtividade de grãos de soja (Tabelas 18 e 19).

Thomas & Costa (1994) observaram que as plantas do tratamento irrigado apresentaram maior número de legumes, enquanto o número de legumes do tratamento não irrigado foi afetado pelo menor crescimento vegetativo das plantas.

Heiffig (2002) concluiu que o número de legumes por planta é o mais importante dos componentes de rendimento, por ser diretamente influenciado pelo arranjo populacional das plantas na área de produção.

**Tabela 30.** Número médio de legumes por planta de soja, no experimento irrigado, nos tratamentos avaliados.

Doses de resíduos (Mg ha <sup>-1</sup> )	Profundidade efetiva do sulcador		Médias <sup>1</sup>
	0,064 m	0,100 m	
0	41	37	39
2	42	41	41
3	37	42	39
4	32	36	34
5	33	38	35
6	34	34	34
Médias <sup>1</sup>	37	38	37

C.V Resíduos: 11,55% C.V Profundidades: 11,68%

<sup>1</sup> Ausência de letras após as médias indica que as mesmas não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05%)**Tabela 31.** Número médio de legumes por planta de soja, no experimento não irrigado, nos tratamentos avaliados.

Doses de resíduos (Mg ha <sup>-1</sup> )	Profundidade efetiva do sulcador		Médias <sup>1</sup>
	0,064 m	0,100 m	
0	28	32	30
2	27	24	25
3	27	28	28
4	24	26	25
5	27	24	25
6	27	26	26
Médias <sup>1</sup>	27	27	27

C.V Resíduos: 14,54% C.V Profundidades: 20,30%

<sup>1</sup> Ausência de letras após as médias indica que as mesmas não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05%)

Nos tratamentos profundidade do sulcador de adubo e doses de resíduos, nos experimentos irrigado e não irrigado, e na média geral dos experimentos, o número médio de grãos de soja por legume não diferiu entre si (Tabelas 32 e 33), indicando que este componente de rendimento não foi afetado pela irrigação suplementar, pois está relacionado com as características varietais da planta, e é regulado geneticamente.

Heiffig (2002) e Rambo et al. (2002) observaram que o número de grãos de soja por legume não foi alterado em função do arranjo de plantas.

Thomas & Costa (1994), trabalhando em condições similares, também observaram que o número de grãos de soja por legume não foi alterado, porém, deram como razão a deficiência hídrica.

Tanto o número de grãos por legume, como o peso do grão tem controle genético substancial e por isso tem pequena variação (Cooperative..., 1994, apud Rambo et al., 2002).

**Tabela 32.** Número médio de grãos de soja por legume, no experimento irrigado, nos tratamentos avaliados.

Doses de resíduos (Mg ha <sup>-1</sup> )	Profundidade efetiva do sulcador		Médias <sup>1</sup>
	0,064 m	0,100 m	
0	2,2	2,1	2,1
2	2,0	2,1	2,0
3	2,0	2,0	2,0
4	2,0	2,3	2,2
5	1,9	2,0	1,9
6	1,8	2,0	1,8
Médias <sup>1</sup>	2,0	2,1	2,0

C.V Resíduos: 8,51% C.V Profundidades: 5,28%

<sup>1</sup> Ausência de letras após as médias indica que as mesmas não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05%)**Tabela 33.** Número médio de grãos de soja por legume, no experimento não irrigado, nos tratamentos avaliados.

Doses de resíduos (Mg ha <sup>-1</sup> )	Profundidade efetiva do sulcador		Médias <sup>1</sup>
	0,064 m	0,100 m	
0	1,9	1,9	1,9
2	2,0	2,1	2,1
3	1,9	2,0	2,0
4	2,4	2,1	2,3
5	2,0	2,0	2,0
6	2,0	2,5	2,2
Médias <sup>1</sup>	2,1	2,1	2,1

C.V Resíduos: 13,09% C.V Profundidades: 15,45%

<sup>1</sup> Ausência de letras após as médias indica que as mesmas não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05%)

O número médio de grãos por legume foi o mesmo, independentemente dos tratamentos profundidade do sulcador e doses de resíduos, em ambos experimentos (Tabelas 32 e 33). Em relação ao não irrigado, o experimento irrigado apresentou uma diferença, para mais, de 10 legumes por planta de soja (Tabelas 30 e 31), mas a diferença de 37% foi praticamente mantida, quando avaliados o número médio de grãos por planta (Tabelas 34 e 35). Apesar de parecer redundante a apresentação do número médio de grãos por planta de soja (já que foram apresentados os dados de número médio de grãos por legume e de legumes por planta, nos experimentos irrigado e não irrigado), cabe salientar que, nas Tabelas 34 e 36, na média das profundidades de atuação do sulcador de adubo, as doses de resíduos influenciaram o número médio de grãos por planta de soja e a produção média de grãos por planta de soja, o que não ocorreu no experimento não irrigado, e nem tão pouco nos dados anteriores de componentes de rendimento. Houve uma tendência de diminuição da produção de grãos por planta, no experimento

irrigado, na medida em que as doses de resíduos dispostas sobre a superfície do solo foram maiores (Tabela 34). Uma explicação provável para esse comportamento está na maior capacidade de retenção da água da lâmina de irrigação aplicada, quando se aumentam as doses de resíduos, diminuindo proporcionalmente a água de irrigação disponível para as plantas de soja.

No entanto, a manutenção da cobertura do solo na técnica de semeadura direta visa, principalmente, a conservação do solo. Ainda que em anos mais secos, com precipitações de frequência, intensidade e/ou volume baixos, seja possível obter maiores produtividades em áreas com solo descoberto, podem também ocorrer perdas de solo e de água nestas áreas, principalmente nas regiões tropicais e subtropicais, que apresentam precipitações de alta intensidade.

**Tabela 34.** Número médio de grãos por planta de soja, no experimento irrigado, nos tratamentos avaliados.

Doses de resíduos (Mg ha <sup>-1</sup> )	Profundidade efetiva do sulcador		Médias <sup>1</sup>
	0,064 m	0,100 m	
0	89	77	83 a
2	88	84	85 a
3	73	84	78 ab
4	66	81	74 abc
5	62	76	69 bc
6	63	68	65 c
Médias <sup>1</sup>	74 A	78 A	76

C.V Resíduos: 7,52% C.V Profundidades: 11,38%

<sup>1</sup> Médias seguidas de letras diferentes maiúsculas na linha e minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05%).

**Tabela 35.** Número médio de grãos por planta de soja, no experimento não irrigado, nos tratamentos avaliados.

Doses de resíduos (Mg ha <sup>-1</sup> )	Profundidade efetiva do sulcador		Médias <sup>1</sup>
	0,064 m	0,100 m	
0	54	61	58
2	54	50	52
3	52	57	55
4	53	56	55
5	54	49	51
6	54	58	56
Médias <sup>1</sup>	54	55	54

C.V Resíduos: 12,39% C.V Profundidades: 15,11%

<sup>1</sup> Ausência de letras após as médias indica que as mesmas não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05%)

Assim como no número médio de grãos por planta, a produção média de grãos por planta não apresentou diferença significativa no tratamento doses de resíduos, no experimento não irrigado, e no tratamento profundidade do sulcador de adubo, nos dois experimentos.

Como o número médio de grãos por legume foi praticamente o mesmo nos experimentos irrigado e não irrigado, a produção da massa de grãos por planta variou em função do número de legumes por planta e do peso dos grãos.

A produção média da massa de grãos (g) por planta de soja, no experimento irrigado, na média geral dos tratamentos avaliados, foi 51% maior, em relação ao experimento não irrigado (Tabelas 36 e 37, respectivamente).

**Tabela 36.** Produção média de grãos (g) por planta de soja, no experimento irrigado, nos tratamentos avaliados.

Doses de resíduos (Mg ha <sup>-1</sup> )	Profundidade efetiva do sulcador		Médias <sup>1</sup>
	0,064 m	0,100 m	
0	17,6	15,4	16,5 a
2	17,2	16,6	16,9 a
3	14,5	16,7	15,6 ab
4	13,2	16,2	14,7 abc
5	12,4	15,1	13,8 bc
6	12,5	13,5	13,0 c
Médias <sup>1</sup>	14,6 A	15,6 A	15,1

C.V Resíduos: 7,65% C.V Profundidades: 11,26%

<sup>1</sup> Médias seguidas de letras diferentes maiúsculas na linha e minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05%).

**Tabela 37.** Produção média de grãos (g) por planta de soja, no experimento não irrigado, nos tratamentos avaliados.

Doses de resíduos (Mg ha <sup>-1</sup> )	Profundidade efetiva do sulcador		Médias <sup>1</sup>
	0,064 m	0,100 m	
0	10,0	11,3	10,7
2	10,0	9,3	9,7
3	9,6	10,4	10,0
4	9,8	10,2	10,0
5	9,9	9,0	9,5
6	10,0	10,8	10,4
Médias <sup>1</sup>	9,9	10,2	10,0

C.V Resíduos: 12,35% C.V Profundidades: 15,09%

<sup>1</sup> Ausência de letras após as médias indica que as mesmas não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05%).

A avaliação dos componentes de rendimento é fundamental para determinar as causas das diferenças de produtividade durante o ciclo da



cultura. Considerando que, nas médias gerais dos tratamentos, os experimentos com e sem irrigação apresentaram mesmo número de grãos por legume (Tabelas 32 e 33), mas valores mais elevados no número de legumes por planta (Tabelas 30 e 31), no número de grãos por planta (Tabelas 34 e 35), na massa de grãos por planta (Tabelas 36 e 37), na massa de 100 grãos, e na população final de plantas (Tabelas 20 e 21), no experimento irrigado isso implicou em uma produtividade de grãos 53% maior, a favor do experimento irrigado (Tabelas 18 e 19), e foi possível verificar que esse aumento foi principalmente devido ao maior número de legumes por planta (Tabela 30).

#### **4.2.16 Massa seca total de resíduos culturais sobre o solo no momento da colheita**

Na época da colheita da soja, no experimento irrigado (Tabela 38), não houve diferença significativa na massa seca total de resíduos culturais, entre os tratamentos doses de resíduos, que pode ser explicada pela presença de resíduos de milho, aveia e soja das safras anteriores, os quais apresentam relação C/N diferentes, com taxas de mineralização também distintas. Deve-se considerar também que somente os resíduos das culturas de inverno são dispostos seguindo as doses de tratamento. Os cultivos de verão são colhidos com a colhedora citada em material e métodos (item 3.3) e pode promover uma distribuição não uniforme de resíduos sobre o solo. Os tratamentos profundidade de atuação do sulcador de adubo apresentaram diferenças na massa total de resíduos culturais na época da colheita, devido ao maior grau de mobilização do solo (maior profundidade do sulcador) que provavelmente promoveu uma decomposição de resíduos mais elevada.

No experimento não irrigado (Tabela 39), houve diferença significativa na massa seca total de resíduos culturais na época da colheita entre os tratamentos doses de resíduos e profundidade de atuação do sulcador de adubo. Diferenças significativas entre os tratamentos profundidade de atuação do sulcador de adubo, também podem ser explicada pelo maior grau de mobilização do solo (maior profundidade do sulcador), o qual promove uma decomposição de resíduos mais elevada. Na média geral dos experimentos irrigado e não irrigado, o experimento não irrigado apresentou uma massa total de resíduos maior, em relação ao experimento irrigado, pois a ausência de

irrigação suplementar provavelmente possibilitou uma menor taxa de mineralização dos resíduos dispostos sobre a superfície do solo.

Em relação aos tratamentos doses de resíduos, houve uma tendência de aumento na massa total de resíduos dispostos sobre o solo, com o aumento das doses de resíduos, apesar de somente as doses 0 Mg ha<sup>-1</sup> e 5 Mg ha<sup>-1</sup> apresentarem diferença significativa.

Herzog (2003) observou na massa seca de resíduos de aveia preta ainda remanescente sobre a superfície de solo, no momento da colheita da soja, uma redução média de 50% da quantidade total inicial de resíduo aplicado na superfície do solo, sem diferenças significativas entre os tratamentos profundidade de atuação do sulcador e uso ou não de irrigação suplementar durante o ciclo da cultura da soja.

**Tabela 38.** Valores médios de matéria seca total de resíduos sobre o solo (Mg ha<sup>-1</sup>) imediatamente antes da colheita da soja, no experimento irrigado, nos tratamentos avaliados.

Doses de resíduos (Mg ha <sup>-1</sup> )	Profundidade efetiva do sulcador		Médias <sup>1</sup>
	0,064 m	0,100 m	
0	3,40	2,07	2,74
2	5,71	2,68	4,19
3	3,55	2,64	3,09
4	3,65	4,20	3,92
5	4,39	4,06	4,23
6	3,35	3,36	3,36
Médias <sup>1</sup>	4,01 A	3,17 B	3,59

C.V Resíduos: 24,58% C.V Profundidades: 23,43%

<sup>1</sup> Médias seguidas de letras maiúsculas diferentes na linha diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05%)

**Tabela 39.** Valores médios de matéria seca total de resíduos sobre o solo (Mg ha<sup>-1</sup>) imediatamente antes da colheita da soja, no experimento não irrigado, nos tratamentos avaliados.

Doses de resíduos (Mg ha <sup>-1</sup> )	Profundidade efetiva do sulcador		Médias <sup>1</sup>
	0,064 m	0,100 m	
0	2,26	2,24	2,25 b
2	5,97	3,17	4,57 ab
3	7,13	2,96	5,04 ab
4	5,83	4,27	5,05 ab
5	8,23	6,16	7,19 a
6	5,77	4,43	5,10 ab
Médias <sup>1</sup>	5,86 A	3,87 B	4,87

C.V Resíduos: 23,79% C.V Profundidades: 15,86%

<sup>1</sup> Médias seguidas de letras maiúsculas diferentes na linha diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05%)

## 5. CONCLUSÕES

Nas condições em que o presente trabalho foi realizado, após o solo da área ter sido utilizado por três anos com culturas anuais, podemos concluir que:

1) Nos locais onde houve tráfego dos rodados do trator, os valores de resistência à penetração, densidade do solo e microporosidade do solo foram maiores, e os de macroporosidade, menores, em relação aos locais sem tráfego. No experimento não irrigado, independentemente dos locais serem trafegados ou não, os valores de resistência à penetração, densidade do solo e microporosidade do solo foram maiores em relação ao experimento irrigado.

2) A patinação dos rodados do trator na operação de semeadura aumentou significativamente com a profundidade de atuação do sulcador facão de adubo, e com as doses de resíduo cultural na superfície do solo.

3) O volume de solo mobilizado pela haste sulcadora de adubo da semeadora-adubadora foi 42% maior na maior profundidade testada (0,100 m), porém sem diferenças entre as doses do resíduo cultural de aveia preta existente sobre o solo no momento da semeadura, nas duas profundidades de atuação do sulcador de adubo (0,064 m e 0,100 m).

4) As doses de resíduo não influenciaram a força de tração medida na haste sulcadora, a força de tração específica e o volume de solo mobilizado. Houve diferença significativa de força de tração e força de tração específica entre as profundidades, e entre as zonas com e sem tráfego dos rodados do trator.

5) A população inicial de plantas de soja não foi influenciada pelas profundidades de trabalho do sulcador. Porém, no experimento irrigado, houve uma tendência de maior número de plantas com o aumento da dose de resíduos.

6) A estatura de plantas, a produtividade de grãos e a massa da parte aérea e de raízes da cultura da soja foram influenciadas positivamente pela irrigação, mas não pelas doses de resíduo. Na ausência de irrigação, verificou-se maior produtividade de grãos e de massa da parte aérea da cultura da soja, quando o sulcador de adubo operou a 0,100 m.

7) O número de legumes por planta e a massa de 100 grãos de soja foram maiores no experimento irrigado, sem influência das doses de resíduo e das profundidades do sulcador. No experimento irrigado foi obtida maior massa de grãos por planta, e esta foi negativamente influenciada pelo aumento das doses de resíduo de aveia sobre o solo.

8) A produção de biomassa total da cultura da soja, incluindo grãos, parte aérea e raízes até 0,12 m, não apresentou diferença significativa nos tratamentos profundidade do sulcador de adubo e doses de resíduos. No experimento irrigado obteve-se uma maior biomassa total, com diferença de 2,3 Mg ha<sup>-1</sup>, em relação ao não irrigado.

9) Independentemente do uso da irrigação, à época da colheita da soja, a massa de resíduos culturais sobre o solo foi menor nas parcelas com maior profundidade de atuação do sulcador.

10) Com suprimento hídrico, é possível o cultivo de soja em semeadura direta, na Depressão Central do RS, sem necessidade de efetuar preparo do solo quando da conversão do campo nativo para a atividade agrícola

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEOYE, K. B. Effect of tillage depth on physical properties of a tropical soil and on yield of maize, sorghum and cotton. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 2, p. 225-231, 1982.

ALLMARAS, R. R.; BLACK, A. L.; RICKMAN, R. W. Tillage, soil environment, and root growth. In: CONSERVATION TILLAGE CONFERENCE, 1973, Des Moines. **Proceedings...** Des Moines, 1973. p. 62-86.

ALMEIDA, F. S. de. Influência da cobertura morta do plantio direto na biologia do solo. In: FANCELLI, A. L.; TORRADO, P. V.; MACHADO, J. **Atualização em plantio direto**. Campinas: Fundação Cargill, 1985. p. 103-144.

ALMEIDA, F.S. **A alelopatia e as plantas**. IAPAR : Londrina, 1988. 60 p. (Circular; n. 53).

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Agricultural machinery management data. In: ASAE standards 1996: standards engineering practices data. St. Joseph, 1996. p. 332-339. (ASAE D-497.2).

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Agricultural tractor test code. In: ASAE standards 1989: standards engineering practices data. St. Joseph, 1989. p. 44-48. (ASAE S209.5)

ARVIDSON, J.; HAKANSSON, I. A model for estimating crop yield losses caused by compaction. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 20, p. 319-332, 1991.

BAIGORRI, H. E.J. et al. **Ecofisiología, formación del rendimiento y manejo del cultivo de soja**. Disponível em: <<http://www.intabalcarce.org/eventos/CGruesa2000/ecoformrend.htm>> Acesso em: 28 de jun 2005.

BALASTREIRE, L.A. **Máquinas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1987. 307 p.

BARBER, S. A. Effect of tillage practice on corn (*Zea mays L.*) root distribution and morphology. **Agronomy Journal**, Madison, v. 63, n. 5, p. 724-726, 1971.

BARBOSA, D. C. A. Crescimento em *Anadenanthera macrocarpa* (Benth) Brenan (Leguminosae – Mimosoideae). **Phyton. Revista Internacional de Botânica Experimental**, Buenos Aires, v. 52, n. 1, p. 51-62, 1991.

- BARBOSA, D. C. A.; PRADO, M. C. G. Quantitative analysis of the growth of *Parkinsonia aculeata* L. in a greenhouse. *Phyton. Revista Internacional de Botânica Experimental*, Buenos Aires, v. 52, n. 1, p. 17-26, 1991.
- BARLEY, K.P. Influence of soil strength on growth of roots. *Soil Science*, Baltimore, v. 96, p. 175-180, 1963.
- BARNI, N.A. Práticas agrícolas para minorar o impacto das secas e racionalizar a irrigação. In: BERGAMASCHI, H. (Coord.) **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. 2. ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 1999. p.116-125.
- BARNI, N.A., GOMES, J.E. S., GONSALVES, J.C. Efeito da época de semeadura, espaçamento e população de plantas sobre o desempenho da soja (*Glicine max* (L.) Merrill) em solo hidromórfico. *Agronomia Sulriogradense*, Porto Alegre, v. 21, n. 2, p. 245-296, 1985.
- BARROS, L. M.; BARBOSA, D. C. A. Crescimento de *Acacia farnesiana* (L.) Willd em casa de vegetação. *Phyton. Revista Internacional de Botânica Experimental*, Buenos Aires, v. 52, n. 2, p. 179-191, 1995.
- BAYER, C. **Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos**. 1996. 240 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.
- BAUMER, K.; BAKERMANS, W. A. P. Zero Tillage. *Advances in Agronomy*, San Diego, v. 25, p. 77-123, 1973.
- BEGG, S. E.; TURNER, N. C. Crop water deficits. *Advances in Agronomy*, San Diego, v. 28, p. 161-217, 1976.
- BERGAMASCHI, H.; GUADAGNIN, M. R. **Agroclima da estação experimental agrônômica da UFRGS**. Porto Alegre: UFRGS, 1990. 96 p.
- BERLATO, M.A. As condições de precipitação pluvial no estado do Rio Grande do Sul e os impactos das estiagens na produção agrícola. In: BERGAMASCHI, H. (Coord.) **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. 1. ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 1992. p.11-24.
- BERLATO, M.A.; MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H. Evapotranspiração máxima da soja e relações com a evapotranspiração calculada pela equação de Penman, evaporação do tanque "classe A" e radiação solar global. *Agronomia Sulriogradense*, Porto Alegre, v. 22, n. 2, p. 243-259, 1986.
- BERTOL, I.; CIPRANDI, O.; KURTZ, C.; BAPTISTA, A.S. Persistência dos resíduos de aveia e milho sobre a superfície do solo em semeadura direta. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 22, p. 705-712, 1998.
- BERTOL, I.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Erosão hídrica em diferentes preparos do solo logo após as colheitas de milho e trigo, na presença e na ausência dos resíduos culturais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 21, p. 409-418, 1997.

BIANCHINI, A.; SABINO, M.H.C.; BORGES, P.H.M., SGUAREZZI, J.J. Comportamento operacional de um escarificador de hastes parabólicas em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 3, p. 395-401, 1999.

BICKI, T. J.; SIEMENS, J. C. Crop response to wheel traffic soil compaction. **Transaction of the American Society of Agricultural Engineering**, Saint Joseph, v. 34, p. 909-913, 1991.

BLANCO, H.G., BLANCO, F.M.G. Efeito do manejo do solo na emergência de plantas daninhas anuais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 26, n. 2, p. 215-220, 1991.

BOARD, J.E.; HARVILLE, B.G.; SAXTON, A.M. Branch dry weight in relation to yield increases in narrow-row soybeans. **Agronomy Journal**, Madison, v. 82, p. 540-544, 1990.

BOARD, J.E.; SETTIMI, R. Photoperiod effect before and after flowering on branch development in determinate soybean. **Agronomy Journal**, Madison, v. 78, p. 905-1002, 1986.

BONATO, E. R. **Estresses em soja**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. 254 p.

BONATO, E. R.; BERTAGNOLLI, P.F.; LINHARES, A.G., COSTAMILAN, L.M.; KIIHL, R.A.S.; ALMEIDA, L. A. BRS 137: cultivar de soja para cultivo no sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 5, p. 841-843, 2001.

BORTOLOTTI, V.C.; NÓBREGA, L.H.P.; LOPES, R.A.P.; PRIOR, M. Influência da compactação no desenvolvimento inicial de seis cultivares de soja sob dois sistemas de cultivo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002. 1 CD-ROM.

BORTOLUZZI, E.C.; ELTZ, F.L.F. Manejo da palha da aveia preta sobre as plantas daninhas e rendimento de soja em semeadura direta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 2, p. 237-243, 2001

BOTTA, G. ; JORAJURÍA, D. ; DRAGHI, L. ; DAGOSTINO, C. La profundidad de huella y la resistencia a la penetración del suelo, bajo diferentes intensidades de tráfico. **Avances Ingeniería Agrícola**, Buenos Aires, p.104-109, 2000.

BOYER, J.S. Different sensitivity of photosynthesis to low leaf water potentials in corn and soybean. **Plant Physiology**, Baltimore, v. 46, p. 236-239, 1970.

BRAGAGNOLO, N.; MIELNICZUK, J. Cobertura do solo por palha de trigo seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 14, p. 369-374, 1990.

BRASIL, **Agricultura brasileira em números** - anuário 2003. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>> Acesso em: 25 de maio de 2005.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul**. Recife: IPEAS, 1973. 431 f. (Boletim Técnico; 30).

BREVEDAN, R. E.; EGLI, D. B. Short periods of water stress during seed filling, leaf senescence, and yield of soybean. **Crop Science**, Madison, v. 43, p. 2083-2088, 2003.

BUHLER, D.D. Influence of tillage systems on weed population dynamics and management in corn and soybean in the central USA. **Crop Science**, Madison, v. 35, p.1247-1258, 1995.

CÂMARA, G.M.S. **Desempenho produtivo dos cultivares de soja iac-17, iac-12 e iac-19, semeados em três épocas de semeadura e em cinco densidades de plantas**. 1998. 165 p. Tese (Livre-Docência) - Esalq, USP, Piracicaba.

CAMPOS, B.H. de, et al. Avaliação temporal da umidade do solo como consequência do tipo e percentagem de cobertura vegetal. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 24, n. 3, p. 459-463, 1994.

CANARACHE, A. Penetr-a generalized semi-empirical model estimating soil resistance to penetration. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 16, p. 51-70, 1990.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 14, p. 99 -105, 1990.

CASÃO JUNIOR, R.; CAMPOS, C.F. Desempenho de diferentes sistemas de acabamento de semeadura em plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 33., 2004, São Pedro. **Anais...** São Pedro: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2004. 1 CD-ROM.

CASÃO JÚNIOR, R.; SIQUEIRA, R.; ARAÚJO, A.G.; RALISH, R. **Dinâmica de semeadoras-adubadoras diretas em Primeiro de Maio, PR**. Londrina: IAPAR, 2000. 14 p. (Boletim técnico).

CASSEL, D.K.; LAL, R. Soil physical properties of the tropics: common beliefs and management restraints. In: LAL, R.; SANCHEZ, P.A. (Eds.). **Myths and science of soils of the tropics**. Madison: Soil Science Society of America, 1992. p. 61-89 (Special Publication; n. 29).

CEPIK, C. T. C.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R.; CONTE, O. Estado de compactação do solo em área sob semeadura direta, mapeado por meio de dados de esforço de tração em haste sulcadora de semeadora.



In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 34., 2005, Canoas. **Anais...** Canoas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2005. 1 CD-ROM.

CEPIK, C. T. C. ; LEVIEN, R. ; TREIN, C. R. ; SPELLMEIER, M. . Massa seca de raízes em função da profundidade de atuação das hastes sulcadoras de adubo e doses de resíduos sobre o solo, na semeadura direta do milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto, 2003a. 1 CD-ROM.

CEPIK, C. T. C.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R. Patinagem do trator e demanda de tração em função da profundidade de atuação das hastes sulcadoras de adubo e doses de resíduos sobre o solo, na semeadura direta do milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 32., 2003, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2003b. 1 CD-ROM.

CEPIK, C. T. C.; TREIN, C. R.; LEVIEN, R.; BEUTLER, J. F. Relação entre força de tração na haste sulcadora de semeadora-adubadora e a área mobilizada em semeadura direta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002a. 1 CD-ROM.

CEPIK, C. T. C.; TREIN, C. R.; LEVIEN, R.; HERZOG, R. L. S. Patinagem do trator e força de tração de haste sulcadora de semeadora-adubadora de precisão em função de teores de água no solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002b. 1 CD-ROM.

COELHO, L.F.S.; LEVIEN, R.; TREIN, C.R. Colheitadeiras. **DBO Agrotecnologia**, São Paulo, v. 1, p. 36-46, 2004.

COGO, N. P.; LEVIEN, R.; VOLK, L. B. S. Indicadores de qualidade do solo: uma abordagem conceitual e ilustrada com ênfase em aspectos de erosão hídrica e de mecanização/tratorizada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto : SBCS/UNESP, 2003. p. 1-35. 1 CD-ROM.

COGO, N.P. **Effect of residue cover, tillage induced-roughness, and slope length on erosion and related parameters.** 1981. 381 f. Tese (Doutorado), West Lafayette, Purdue University, 1981.

CONFALONE, A.; DUJMOVICH, M.N. Influência do déficit hídrico sobre o desenvolvimento e rendimento da soja. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.7, n.2, p.183-187, 1999.

CONFALONE, A.E.; COSTA, L.C.; PEREIRA, C.R. Crescimento e captura de luz em soja sob estresse hídrico. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 2, p. 165-169, 1998.

CONTE, O. ; LEVIEN, R.; MENEGATI, G. B.; TREIN, C. R. Implantação de milho sobre consórcio de aveia+ervilhaca por diferentes preparos

conservacionistas. In: SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 2003, Porto Alegre. **Livro de Resumos**. Porto Alegre: UFRGS, 2003.

CORREIA, K. G. ; NOGUEIRA, R. J. M. C. Avaliação do crescimento do amendoim (*Arachis hypogaea* L.) submetido a déficit hídrico. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Belo horizonte, v. 4, n. 2, 2004.

COSTA, J. A. **Cultura da soja**. Porto Alegre: Evangraf, 1996. 233 p.

COSTA, J.A.; MARCHEZAN, E. **Características dos estádios de desenvolvimento da soja**. Campinas : Fundação Cargil, 1982. 30 p.

COUTINHO, H. J. S. **Avaliação da otimalidade da produção resultante de um sistema biológico complexo: uma aplicação de algoritmos genéticos ao problema de repartição do fotossinato entre os componentes das plantas**. 1996. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1996.

CURY, B. Porque fazer plantio direto. In: GUIA para plantio direto, 2000. Ponta Grossa: Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha, 2000. p. 9-15.  
DE SOUZA, P.I.; EGLI, D.B.; BRUENING, W.P. Water stress during seed filling and leaf senescence in soybean. **Agronomy Journal**, Madison, v. 89, n. 5, p. 807-812, 1997.

DELAFOSSÉ, R.M. **Máquinas sembradoras de grano grueso**. Santiago: FAO, 1986. 48 p.

DERPSCH, R.; ROTH, C. H.; SIDIRAS, N.; KÖPKE, V. **Controle de erosão no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo**. Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit; [Curitiba] : Instituto Agrônômico do Paraná, 1991. 272 p.

DERPSCH, R.; SIDIRAS, N.; ROTH, C. H. Results of studies made from 1977 to 1984 to control erosion by cover crops and no-tillage techniques in Paraná, Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 8, p. 253-263, 1986.

DERPSCH, R., SIDIRAS, N., HEINZMANN, F.X. Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 7, p. 761-773, 1985.

DESCLAUX, D.; HUYNH, T.; ROUMET, P. Identification of soybean plant characteristics that indicate the timing of drought stress. **Crop Science**, Madison, v. 40, n. 3, p. 716-722, 2000.

DIAS JUNIOR, M.S. **Compression of three soils under long-term tillage and wheel traffic**. 1994. 114 f. Tese (Doutorado em Solos e Culturas) - East Lansing State University, 1994.

DONALD, C.M., Competition among crop and pasture plants. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 15, p. 1-118, 1963.

DURIGAN, J. C.; ALMEIDA, F. S. de. **Noções de alelopatia**. Jaboticabal : Editora da FUNEP, 1993. 23 p.

EHLERS, W.W.; KÖPKE, F. HESSE, F.; BÖHM, W. Penetration resistance and growth root of oats in tilled and untilled loess soil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 3, p. 261-275, 1983.

EMBRAPA. **Cálculo do custo de irrigação com autopropelido e convencional 2003**. Disponível em: < <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br> > Acesso em: 18 jun de 2005.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 1999. 412 f.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA / SNLCS, 1997. 247 f.

FEY, E.; SEIDEL, G. O.; VERONA, M. M.; ERIG, P. R.; FEY, A. Desempenho de uma semeadora sob culturas vegetais épocas de dessecação em sistema de semeadura sob a palha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002. 1 CD-ROM.

FORSYTHE, W. **Física de suelos**. San José: IICA, 1975. 212 f.

FURLANI, C. E. A.; GAMERO, C. A.; LEVIEN, R.; LOPES, A.; SILVA, R. P. Desempenho operacional de uma semeadora-adubadora de precisão, em função do preparo do solo e do manejo da cobertura de inverno. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 388-395, 2004.

GAUDÊNCIO, C.; GAZZIERO, D.L.P.; JASTER, F.; WOBETO, C. **População de plantas de soja no sistema de semeadura direta para o Centro-Sul do Paraná**. Londrina: EMBRAPA-CNPSO, 1990. 4 p. (Comunicado Técnico; 47)

GILL, W. R.; VANDEN BERG, G.E. **Soil dynamics in tillage and traction**. Washington: Agricultural Research Service, 1968. 511 p.

GILL, W.R.; MILLER, R.D. A method for study of the influence of mechanical impedance and aeration on the growth of seeding roots. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 20, p 154-157, 1956.

GRABLE, A.R.; SIEMER, E.G. Effects of bulk density, aggregate size, and soil water suction on oxygen diffusion, redox potentials, and elongation of corn roots. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 32, p.180-86, 1968.

GROENEVELT, P.H.; KAY, B.D.; GRANT, C.D. Physical assessment of a soil with respect to rooting potential. **Geoderma**, Amsterdam, v. 34, p. 101-114, 1984.

HAKANSSON, I.; VOORHEES, W.B.; RILEY, H. Vehicle and wheel factors influencing soil compaction and crop responses in different traffic regimes. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 11, p. 239-282, 1988.

HAKANSSON, I.; MEDVEDEV, V.W. Protection of soils from mechanical overloading by establishing limits for stresses caused by heavy vehicles. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 35, p. 85-97, 1995.

HALLMARK, W. B.; BARBER, S. A. Root growth and morphology nutrient uptake and nutrient status of soybeans as affected by soil K and bulk density. **Agronomy Journal**, Madison, v. 73, n. 5, p. 779-782, 1981.

HEIFFIG, L. S. **Plasticidade da cultura da soja (Glicine max (L.) Merrill.) em diferentes arranjos espaciais**. 2002. 85 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Esalq, USP, Piracicaba, 2002.

HERZOG, R. L. S. **Semeadura direta de soja sobre resíduos de aveia preta cultivada em campo nativo, em função de doses de resíduos, irrigação e profundidades de atuação do sulcador de adubo da semeadora-adubadora**. 2003. 95 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

HERZOG, R.L.S.; LEVIEN, R.; TREIN, C.R. Produtividade de soja semeadura direta influenciada por profundidade do sulcador de adubo e doses de resíduo em sistema irrigado e não irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 771-780, 2004.

HERZOG, R.L.S.; LEVIEN, R.; BEUTLER, J.F.; TREIN, C.R. Patinagem das rodas do trator em função da profundidade do sulcador de adubo e doses de resíduos sobre o solo na semeadura direta de soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002. 1 CD-ROM.

HERZOG, R.L.S.; LEVIEN, R.; CEPIK, C.; TREIN, C.R. Volume de solo mobilizado e estabelecimento de plantas de soja em semeadura direta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002. 1 CD-ROM.

HOPKINS, R.M.; PATRICK, W.H. Combined effect of oxygen concentration and soil compaction on root penetration. **Soil Science**, Baltimore, v. 108, p. 408-413, 1970.

HORN, R. et al. Soil compaction processes and their effects on the structure of arable soils and environment. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 35, p. 23-36, 1995.

HORN, R.; LEBERT, M. Soil compactability and compressibility. In: SOANE, B.D.; VAN OUWERKERK, C. **Soil compaction in crop production**. Amsterdam : Elsevier, 1994. p. 45-69.

HUDSON, N. W. **Soil Conservation**. 2. ed. Ithaca: Cornell University Press, 1981. p. 324.

IBGE. **Produção agrícola municipal culturas temporárias e permanentes 2003**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>> Acesso em: 30 jun de 2005.

JORAJURÍA, D.; DRAGHI, L.; BOTTA, G. Persistencia de la compactación inducida por tráfico agrícola. **Avances Ingeniería Agrícola**, Buenos Aires, p. 104-109, 2000.

KIEHL, E.J. **Manual de Edafologia: relações solo-planta**. São Paulo: Ceres, 1979. 263 p.

KISSMANN, K.G.; GROTH, D. **Plantas infestantes e nocivas**. 2. ed. São Paulo : BASF, 1997. t. 1. 825 p.

KLEIN, V.A.; BOLLER, W. Avaliação de diferentes manejos de solo e métodos de semeadura em áreas sob sistema de plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 25, n. 3, p. 395-398, 1995.

KLEIN, V.A.; SIOTA, T.A.; ANESI, A.L.; BARBOSA, R. Efeito da velocidade na semeadura direta de soja. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 22, n. 1, p.75-82, 2002.

KONDO, M.K.; DIAS JUNIOR, M.S. Compressibilidade de três latossolos em função da umidade e uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 211-218, 1999.

LAM-SANCHES, A.; VELOSO, E.J. Efeito do espaçamento e da densidade de plantio sobre várias características agrônômicas na cultura da soja (*Glicine max* (L.) Merrill), variedade "Vicoja" em Jaboticabal, SP. **Científica**, São Paulo, v. 2, n. 2, p. 137-148, 1974.

LANÇAS, K.P; UPADHYAYA, S.K. **Pneus radiais para tratores: guia para seleção correta da pressão de inflação**. Botucatu: FCA/UNESP, 1997. 33 p. (Boletim Técnico, n. 1)

LANÇAS, K.P. **Subsolador: constituição, regulagens, operação e desempenho**. Botucatu: FCA, UNESP, 1991. 47 p.

LANDERS, J.N. **Fascículo de experiências de plantio direto no cerrado**. Goiânia : APDC, 1995. 261 p.

LEVIEN, R. **Condições de cobertura e métodos de preparo do solo para implantação da cultura do milho (zea mays I.)** . 1999. 305 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Botucatu: FCA, UNESP Botucatu, 1999.

LEVIEN, R.; BEUTLER, J. F.; CEPIK, C. T. C.; TREIN, C. R. Força de tração em haste sulcadora tipo facão, operando a duas profundidades em solo com e sem vegetação de campo nativo, na presença e ausência de disco de corte de

palha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto : SBSCS/UNESP, 2003. 1 CD-ROM.

LEVIEN, R.; COELHO, L.F.S.; TREIN, C.R. Plantio Direto. **DBO Agrotecnologia**, São Paulo, n. 3, p. 20-24, 2004b.

LEVIEN, R.; BEUTLER, J.F.; SARAIVA, L.A.T.; COMTE, O. Distribuição e fragmentação de resíduos pela colhedora, na colheita da soja. In: REUNIÃO DE PESQUISA DA SOJA DA REGIÃO SUL, 31., 2003, Porto Alegre. **Atas e Resumos...** Porto Alegre: Departamento de Plantas de Lavoura, Faculdade de Agronomia/UFRGS, 2003.

LEVIEN, R.; COGO, N. P.; ROCKENBACH, C. A. Erosão na cultura do milho em diferentes sistemas de cultivo anterior e métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, p. 73-80, 1990.

LEVIEN, R.; GAMERO, C. A.; FURLANI, C. E. A. Preparo convencional e reduzido em solo argiloso em diferentes condições de cobertura de inverno. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002. 1 CD-ROM.

LOPES, P. R. C.; COGO, N. P.; LEVIEN, R. Eficácia relativa de tipo e quantidade de resíduos culturais espalhados uniformemente sobre o solo na redução da erosão hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 11, n. 1, p.71-75, 1987.

MACEDO, M.C.M.; MIRANDA, C.H.B. **Fixação de nitrogênio pela soja em sistemas de cultivo contínuo e rotacionado com pecuária nos cerrados.** Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2001. 29 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento; n. 14)

MACHADO, A.L.T. **Esforço de tração para ferramentas de hastes com ponteiras estreitas em dois solos do Rio Grande do Sul.** 2001. 175 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

MACHADO, A.L.T.; REIS, A.V. DOS; MORAES, M.L.B. DE; ALONÇO A., S. DOS; **Máquinas para preparo do solo, semeadura, adubação e tratamentos culturais.** Pelotas: UFPel, 1996. 229 p.

MARTINS, M. C. L. et al. Épocas de semeadura, densidades de plantas e desempenho vegetativo de cultivares de soja. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, n. 4, p.851-858, 1999.

MAZETTO, F. R.; LANÇAS K. P.; NAGAOKA, A.; CASTRO NETO, P.; GUERRA, S. P. S. Avaliação do contato pneu-solo em três modelos de pneus agrícolas **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 750-757, 2004.

MELLO, L. M. M.; BORGHI, E. Índice de rugosidade em diferentes sistemas de manejo do solo e da palha para a cultura do milho (*Zea mays* L.) In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., 2001, Foz do

Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2001. 1 CD-ROM.

MELLO, L. M. M.; TAKAHASHI, C.M.; YANO, E.H. Condicionamento físico do solo na linha de semeadura de milho em plantio direto: mecanismos sulcadores e rodas compactadoras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002. 1 CD-ROM.

MEROTTO JR., A.; MUNDSTOCK, C.M. Wheat root growth as affected by soil strength. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 197-202, 1999.

MION, R.L.; NERY, M.S. de; CARVALHO, W.P.A.; RUIZ, E.R; FAGGION, F.; GROSSI, C.H.; MARQUES, J.P.; MAHL, D.; SIILVA, A.R.B. da; BENEZ, S.H. Influência da profundidade de trabalho de uma haste de semeadora na força de tração e na área de solo mobilizada em plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002. 1 CD-ROM.

MOMEN, N.M., CARLSON, R.E., SHAW, R.H., et al. Moisture-stress effects on the yield components of two soybeans cultivars. **Agronomy Journal**, Madison, v. 71, n. 1, p. 86-90, 1979.

MOTA, F.S. DA Condições climáticas e produção de soja no sul do Brasil. In: VERNETTI, F. DE J. (Coord.) **Soja**. Campinas: Fundação Cargill, 1983. 463 p.

NAGAOKA, A. K.; NOMURA, R. H. C.; BRÖRING, N.; KITANO, N.; JASPER, S. P. Avaliação do consumo de combustível, patinação e capacidade de campo operacional na operação de semeadura da cultura de aveia preta (*Avena strigosa*) em três sistemas de manejo do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002a. 1 CD-ROM.

NAGAOKA, A. K.; SILVEIRA, R. A.; THALER NETO, A.; PEDEMONTE, F. C.; GUTBIER, N. Avaliação do custo de operação de semeadura da aveia preta para diferentes manejos do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002b. 1 CD-ROM.

NEGI, S.C.; MCKYES, E.; TAYLOR, F.; DOUGLAS, E.; RAGHAVAN, G.S.V. Crop performance as affected by traffic and tillage in a clay soil. **Transaction of the American Society of Agricultural Engineering**, Saint Joseph, v. 23, p. 1364-1368, 1980.

NESMITH, D.S. Soil compaction in double cropped wheat and soybean on Ultissol. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 51, p. 183-186, 1987.

NEUMAIER, N. et al. Estresses de ordem ecofisiológica. In: BONATO, E.R. (Ed.) **Estresses em soja**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. 254 p.

OLIVEIRA, M.F.B. de; SIQUEIRA, R.; RALISCH, R.; ARAÚJO, A.G. de; CASÃO JÚNIOR, R. Mobilização do solo por hastes sulcadores de semeadoras-adubadoras de plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 29., 2000, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2000. 1 CD ROM.

OPLINGER, E.S. Irrigating Soybeans. **UWEX**, Madison, 2004.

PEDROTTI, A.; PAULETTO, E.A.; CRESTANA, S.; FERREIRA, M.M.; DIAS JUNIOR, M.S.; GOMES, A.S.; TURATTI, A.L. Resistência mecânica à penetração de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 521-529, 2001.

PEIXOTO, C.P.; PEIXOTO, M.F.S. P.; SANTOS, A.R.; MORAES, J.N. Parâmetros fisiológicos e rendimento de cultivares de soja sob déficit hídrico In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002a. 1 CD-ROM.

PEIXOTO, C.P.; PEIXOTO, M.F.S. P.; SANTOS, A.R.; SILVA, V. Matéria seca, área foliar e rendimento de grãos em cultivares de soja sob déficit hídrico em diferentes fases fenológicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002b. 1 CD-ROM.

PEIXOTO, C.P.; CÂMARA, G.M.S.; MARTINS, M.C; MARCHIORI, L.F.S.; GUERZONI, R.A.; MATTIAZZI, P. Época de semeadura e densidade de plantas de soja: I. Componentes da produção e rendimento de grãos. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 57, n. 1, p. 89-96, 2000.

PEIXOTO, C.P.P. **Análise de crescimento e rendimento de três cultivares de soja em três épocas de semeadura e três densidades de plantas**. 1998. 151 p. Tese (Doutorado), Esalq, USP, Piracicaba, 1998.

PEREIRA, A.R. Competição intra-específica entre plantas cultivadas. **O Agrônomo**, Campinas, v. 41, n. 1, p. 5-11, 1989.

PEREIRA, F. A. R. **Cultivo de espécies visando a obtenção de cobertura vegetal do solo na entressafra da soja (*Glycine max* L. Merrill) no cerrado**. 1990. 83 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura) - FCA/Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1990.

PINHEIRO NETO, R.; BORTOLOTTI, V.C.; BORTOLOTTI, M.C. Demanda energética de uma semeadora-adubadora pneumática submetida a três velocidades e diferentes coberturas do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 33., 2004, São Pedro. **Anais...** São Pedro: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2004. 1 CD-ROM.

PINHEIRO NETO, R. **Efeito da umidade dos grãos e das regulagens do mecanismo de trilha nas perdas quantitativas e qualitativas na colheita**



**mecanizada de soja (*Glycine max* L. Merrill).** 1999. 95 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Botucatu: FCA, UNESP Botucatu, 1999.

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

PORTELLA, J. A. **Um estudo preliminar das forças atuantes em elementos rompedores de semeadoras diretas comerciais.** 1983. 69 f. Dissertação (Mestrado - Relação solo-máquina) - Universidade de Campinas, Campinas, 1983.

PORTES, T. de A. Ecofisiologia. In: ZIMMERMANN, M.J. de O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Ed.) **Cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade.** Piracicaba: POTAFOS, 1988. p.125-156.

RADFORD, B.J.; YULE, D.F.; McGARRY, D.; PLAYFORD, C. Crop responses to applied soil compaction and to compaction repair treatments. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 61, p. 157-166, 2001.

RAMBO, L.; COSTA, J.A.; PIRES, J.L.F.; PARCIANELLO, G.; FERREIRA, F.G. Rendimento de grãos da soja em função do arranjo de plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 3, p. 405-411, 2003.

RAMBO, L.; COSTA, J.A.; PIRES, J.L.F.; PARCIANELLO, G.; FERREIRA, F.G. Rendimento de grãos da soja e seus componentes por estrato do dossel em função do arranjo de plantas e regime hídrico. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 3, n. 1-2, p.79-85, 2002.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BRAIDA, J.A. Manejo, qualidade do solo e sustentabilidade: condições físicas do solo agrícola. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto : SBCS/UNESP, 2003. 1 CD-ROM.

REINERT, D.J. **Soil structural form and stability induced by tillage in a typic hapludalf.** 1990. 128 f. Tese (Doutorado em solos e Culturas) - Michigan State University, 1990.

REIS, M.S.; VIEIRA, C.; ANDRADE, A.M.S.; SEDIYAMA; T. Efeito do espaçamento e da densidade de plantio sobre a variedade de soja UFV-1 no Triângulo Mineiro. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 24, n. 134, p. 412-419, 1977.

REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL. **Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do sul e em Santa Catarina 2003/2004.** Porto Alegre: UFRGS, 2003. 137 p.

RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J.; THOMPSON, H.E.; BENSON, G.O. How a soybean plant develops. Ames: Iowa State University of Science and Thechnology, **Cooperative Extension Service**, 1994. 20 p. (Special Report,53).

ROS, C. O.; VENDRUSCULO, E.R.O.; SECCO, D. Utilização de adubos verdes intercalares ao cultivo do milho e trigo em sistema de plantio direto. **Revista Científica UNICRUZ**, Cruz Alta, v. 1, n. 1, p. 54-57, 1999.

SÁ, J.C.M. O sistema de plantio direto: transformações e benefícios ao agrossistema. In: CURSO SOBRE MANEJO DO SOLO NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1995, Castro. **Anais...** Castro: Fundação ABC, 1995. p. 9-20.

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um Podzólico Vermelho-Escuro de Eldorado do Sul (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 19, p. 313-319, 1995.

SARAIVA, L. A. T. **Aumento do rendimento de grãos de soja com o manejo de plantas daninhas e espaçamento entre fileiras**. 2004. 78 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

SEGANFREDO, M.L.; ELTZ, F.L.F.; BRUM, A.C.R. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em sistemas de culturas em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p. 287-291, 1997.

SÉGUY, L.; BOUZINAC, S.; TRENTINI, A. Construção de uma agricultura sustentável, lucrativa e adaptada aos entraves pedoclimáticos das regiões tropicais úmidas. **Informe Agrônomo**, Londrina, v. 74, p. 2-20, 1996.

SIDIRAS, N.; VIEIRA, S.R.; ROTH, C.H. Determinação de algumas características físicas de um Latossolo Roxo distrófico sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 8, p. 265-268, 1984.

SIDIRAS, N.; DERPSCHE, R.; MONDARDO, A. Influência de diferentes sistemas de preparo do solo na variação da umidade e rendimento da soja, em Latossolo Roxo distrófico (Oxissol). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 7, p. 103-106, 1983.

SILVA, A.P. da; KAY, B.D. Estimating the least limiting water range of soil from properties and management. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 61, p. 877-883, 1997.

SILVA, R. P.; CORÁ, J.E.; CARVALHO FILHO, A.; LOPES, A. ; FURLANI, C. E. A. Efeito de rodas compactadoras submetidas a cargas verticais em profundidades de semeadura sobre o desenvolvimento do milho. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 396-404, 2004.

SILVA, M.L.L.; SVERZUT, C.B. Variação da porosidade total, macro e micro porosidade em função da densidade do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 33., 2004, São Pedro. **Anais...** São Pedro: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2004. 1 CD-ROM.

SILVA, P.R.A.; BENEZ, S.H.; MAHL, D.; GERMINO, R. Avaliação da potência e área mobilizada de hastes sulcadoras em semeadoras-adubadoras diretas. In:

CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 33., 2004, São Pedro. **Anais...** São Pedro: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2004a. 1 CD-ROM.

SILVA, R. H.; ROSOLEM, C. A. Crescimento radicular de soja em razão da sucessão de cultivos e da compactação do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, p. 855-860, 2002.

SILVA, R.P.; CORTEZ, J.W.; CARVALHO FILHO, A.; FURLANI, C.E.A., LOPES, A.; FONTANA, G. Interação entre profundidade de semeadura e cargas verticais sobre a roda compactadora na cultura da crotalária. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 33., 2004, São Pedro. **Anais...** São Pedro: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2004b. 1 CD-ROM.

SILVA, S.L. **Avaliação de semeadoras para plantio direto**: demanda energética, distribuição longitudinal e profundidade de deposição de sementes em diferentes velocidades de deslocamento. 2000. 123 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2000.

SILVA, V.R. et al. Fatores controladores da compressibilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico e de um Latossolo Vermelho distrófico típico. I – Estado inicial de compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 1-8, 2002.

SIONIT, N.; KRAMER, P. J. Effects of water stress during different stages of growth of soybean. **Agronomy Journal**, Madison, v. 69, n. 2, p. 274-278, 1977.

SLONEKER, L.L.; MOLDENHAUER, W.C. Measuring the amounts of crop residue remaining after tillage. **Journal of the Soil Water Conservation**, Ankeny, v. 32, p. 231-6, 1977.

STONE, R.J.; EKWUE, E.I. Compressibility of some Trinidadian soils affected by the incorporation of peat. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Silsoe, v. 60, p.15-24, 1995.

STRECK, N.A., SCHNEIDER, F.M., BURIOL, G A. Modificações físicas causadas pelo mulching. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 2, p. 131-142, 1994.

SWAN, J.B. et al **Soil compaction causes, effects, and control**. Minnesota: University of Minnesota, 1987.

TAYLOR, H.M.; GARDNER, H.R. Penetration of cotton seeding tap roots as influenced by bulk density, moisture content and strength of soil. **Soil Science**, Baltimore, v. 96, p. 153-156, 1963.

TAYLOR, H.M.; ROBERTSON, G.M.; PARKER, J.J. Soil strength root penetration relations for medium to coarse textured soil materials. **Soil Science**, Baltimore, v. 102, p. 18-22, 1966.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J.; **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174 p. (Boletim Técnico; 5).

THOMAS, A.L.; COSTA, J.A. Influência do déficit hídrico sobre o desenvolvimento e rendimento da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 9, p.1389-1396, 1994.

THOMAS, A.L.; COSTA, J.A.; PIRES, J.L. Rendimento de grãos de soja afetado pelo espaçamento entre linhas e fertilidade do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 4, p. 543-546, 1998.

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**, Campinas, v. 22, p. 301-309, 1998.

TREIN, C.R. **The mechanics of soil compaction under wheels**. 1995. 132 f. Tese (Doutorado) - Cranfield University, Silsoe, 1995.

TREIN, C.R.; LEVIEN, R.; COELHO, L.F.S. Tráfego controlado. **Revista Cultivar Máquinas**, Pelotas, n. 41, p. 22-25, 2005.

TULLBERG, J.N. Wheel traffic effects on tilage draught. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Silsoe, v. 75, p. 375-382, 2000.

UNGER, P. W. Soil bulk density, penetra resistance, and hydraulic conductivity under controlled traffic conditions. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 37, p. 67-75, 1996.

URBEN FILHO, G.; SOUZA, P. I. de M. de. Manejo da cultura da soja sob cerrado: época, densidade e profundidade de semeadura. In: ARANTES, N.E.; SOUZA, P.I. de M. de (Ed.). **Cultura da soja nos cerrados**. Piracicaba: Potafos, 1993. p.267-298.

VIDAL, R. A.; THEISEN, G.; FLECK, N. G.; BAUMAN, T. T. Palha no sistema de semeadura direta reduz a infestação de gramíneas anuais e aumenta a produtividade da soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 28, n. 3, p. 373-377, 1998.

VOMOCIL, J.A.; FLOCKER, W.J. Effect of soil compaction on storage and movement of soil air and water. **Transaction of the American Society of Agricultural Engineering**, Saint Joseph, v. 4, p. 242-46, 1966.

VOORHEES, W. B.; FARRELL, D. A.; LARSON, W. E. Soil strength and aeration effect on root elongation. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 39, p. 948-953, 1975.

WESTGATE, M. E.; SCHUSSLER, J. R.; REICOSKY, D. C. Effect of water deficits on seed development in soybean. **Plant Physiology**, Lancaster, v. 91, n. 2, p. 980-985, 1989.

WISCHMEIER, W.H. Conservation tillage to control water erosion.  
In: CONSERVATION TILLAGE CONFERENCE, 1973, Des Moines.  
**Proceedings...** Des Moines, 1973. p. 133–144.

## APÊNDICES

**Apêndice 1.** Valores médios de área da seção dos sulcos (cm<sup>2</sup>) na operação de semeadura da soja, no experimento irrigado, nos tratamentos avaliados.

Doses de resíduos (Mg ha <sup>-1</sup> )	Profundidade efetiva do sulcador		Médias <sup>1</sup>
	0,064 m	0,100 m	
0	66,0	67,8	66,9
2	58,6	61,9	60,3
3	57,2	79,9	68,6
4	48,9	72,7	60,8
5	46,7	55,2	50,9
6	64,3	61,6	62,9
Médias <sup>1</sup>	56,9 B	66,5 A	61,7

C.V Resíduos: 17,98% C.V Profundidades: 17,27%

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05%)

**Apêndice 2.** Valores médios de área da seção dos sulcos (cm<sup>2</sup>) na operação de semeadura da soja, no experimento não irrigado, nos tratamentos avaliados.

Doses de resíduos (Mg ha <sup>-1</sup> )	Profundidade efetiva do sulcador		Médias <sup>1</sup>
	0,064 m	0,100 m	
0	53,8	79,0	66,4
2	36,3	70,8	53,5
3	39,7	81,0	60,4
4	35,7	62,8	49,2
5	44,0	64,0	54,0
6	37,0	65,5	51,3
Médias <sup>1</sup>	41,1 B	70,5 A	55,8

C.V Resíduos: 19,70% C.V Profundidades: 17,27%

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05%)

**Apêndice 3.** Valores médios de matéria seca de raízes de soja ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ), amostradas na profundidade de 0,00 a 0,06 m, no experimento irrigado, nos tratamentos avaliados.

Doses de resíduos ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )	Profundidade efetiva do sulcador		Médias <sup>1</sup>
	0,064 m	0,100 m	
0	2,84	3,17	3,00
2	1,12	2,78	1,95
3	2,35	1,79	2,07
4	3,29	2,06	2,67
5	3,02	3,63	3,32
6	3,04	3,10	3,07
Médias <sup>1</sup>	2,61	2,76	2,68

C.V Resíduos: 49,75% C.V Profundidades: 38,05%

<sup>1</sup> Ausência de letras após as médias indica que as mesmas não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05\%$ )

**Apêndice 4.** Valores médios de matéria seca de raízes de soja ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ), amostradas na profundidade de 0,00 a 0,06 m, no experimento não irrigado, nos tratamentos avaliados.

Doses de resíduos ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )	Profundidade efetiva do sulcador		Médias <sup>1</sup>
	0,064 m	0,100 m	
0	2,67	3,23	2,95
2	2,79	2,97	2,88
3	3,38	2,37	2,87
4	3,34	3,21	3,27
5	2,10	2,51	2,30
6	2,72	2,58	2,65
Médias <sup>1</sup>	2,83	2,81	2,82

C.V Resíduos: 37,69% C.V Profundidades: 21,60%

<sup>1</sup> Ausência de letras após as médias indica que as mesmas não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05\%$ )

**Apêndice 5.** Valores médios de matéria seca de raízes de soja ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ), amostradas na profundidade de 0,06 a 0,12 m, no experimento irrigado, nos tratamentos avaliados.

Doses de resíduos ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )	Profundidade efetiva do sulcador		Médias <sup>1</sup>
	0,064 m	0,100 m	
0	1,14	0,97	1,05
2	0,81	0,79	0,80
3	1,19	0,73	0,96
4	0,71	1,26	0,99
5	1,09	0,84	0,97
6	1,57	1,20	1,38
Médias <sup>1</sup>	1,08	0,96	1,02

C.V Resíduos: 28,47% C.V Profundidades: 39,71%

<sup>1</sup> Ausência de letras após as médias indica que as mesmas não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05\%$ )

**Apêndice 6.** Valores médios de matéria seca de raízes de soja ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ), amostradas na profundidade de 0,06 a 0,12 m, no experimento não irrigado, nos tratamentos avaliados.

Doses de resíduos ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )	Profundidade efetiva do sulcador		Médias <sup>1</sup>
	0,064 m	0,100 m	
0	0,67	2,79	1,73
2	0,71	2,40	1,56
3	1,38	2,32	1,85
4	1,14	1,35	1,24
5	1,30	1,54	1,42
6	2,86	1,22	2,04
Médias <sup>1</sup>	1,34	1,94	1,64

C.V Resíduos: 56,31% C.V Profundidades: 73,32%

<sup>1</sup> Ausência de letras após as médias indica que as mesmas não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05\%$ )

**Apêndice 7.** Valores médios de patinagem das rodas tratórias do trator ( $\text{m m}^{-1}$ ) na operação de semeadura da soja, nos tratamentos avaliados.

Doses de resíduos ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )	Profundidade efetiva do sulcador		Médias <sup>1</sup>
	0,064 m	0,100 m	
0	0,075	0,155	0,115 b
2	0,085	0,161	0,123 b
3	0,094	0,193	0,143 ab
4	0,097	0,193	0,145 ab
5	0,113	0,209	0,161 a
6	0,112	0,228	0,170 a
Médias <sup>1</sup>	0,096 B	0,190 A	0,143

C.V Resíduos: 12,30% C.V Profundidades: 13,76%

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05\%$ )

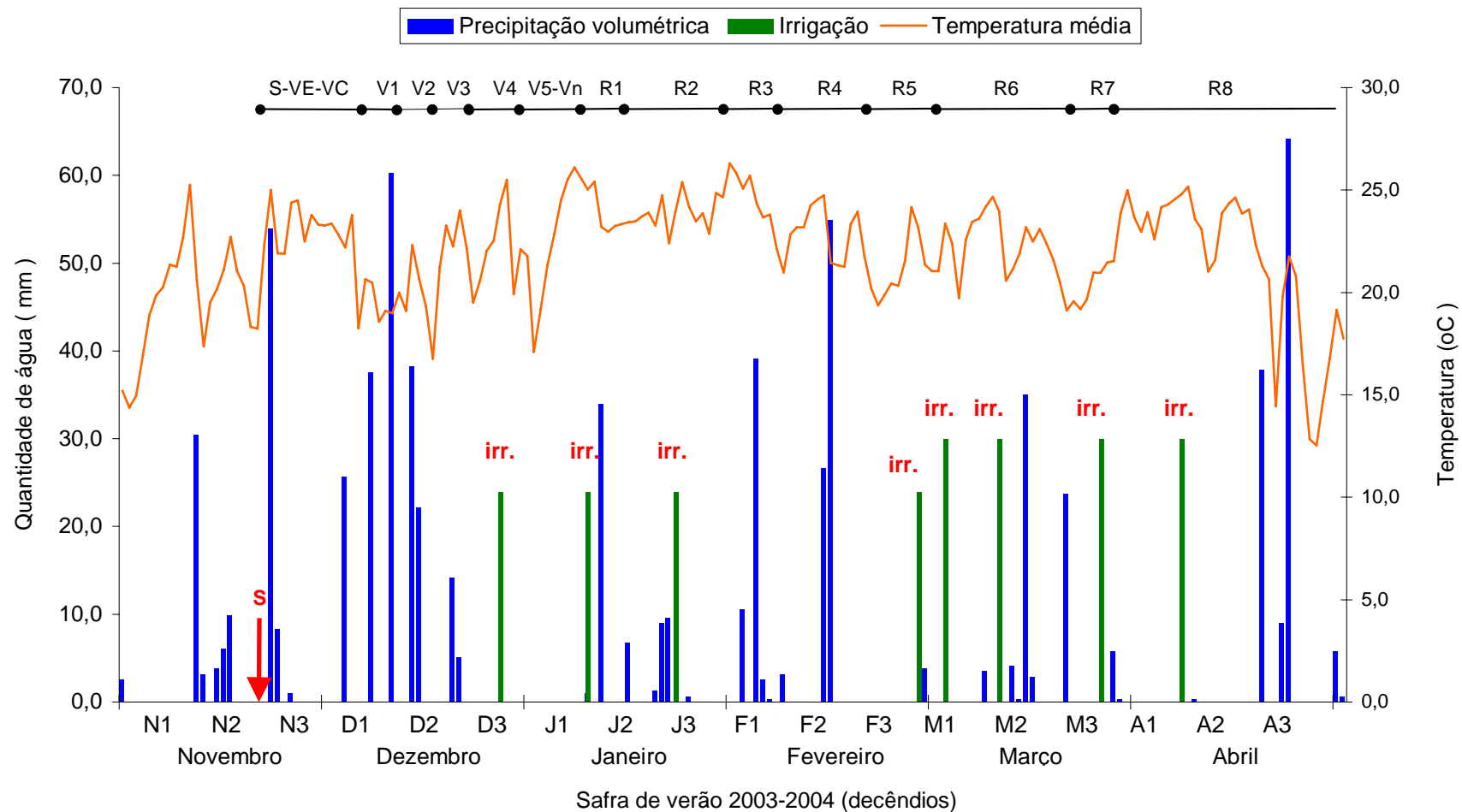
**Apêndice 8.** Volume de solo mobilizado ( $\text{m}^3 \text{ha}$ ), na operação de semeadura da soja nos tratamentos avaliados.

Doses de resíduos ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )	Profundidade efetiva do sulcador		Médias <sup>1</sup>
	0,064 m	0,100 m	
0	137,3	183,3	160,3
2	118,8	166,0	142,4
3	121,3	201,3	161,3
4	105,8	169,5	137,6
5	113,3	149,3	131,3
6	126,8	159,0	142,9
Médias <sup>1</sup>	120,5 B	171,4 A	145,9

C.V Resíduos: 18,96% C.V Profundidades: 21,98%

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05\%$ ).





**Apêndice 9.** Data da semeadura (s), irrigações (irr.), precipitações volumétricas, temperaturas médias e estádios de desenvolvimento fenológico da soja no ano agrícola de 2003-2004.