

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

**PARÂMETROS DE SOLO E MÁQUINAS NA SEMEADURA DIRETA DE
MILHO E SOJA EM DUAS COBERTURAS DE SOLO SOBRE CAMPO
NATURAL**

**Josué Fernando Beutler
(Tese de Doutorado)**

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

**PARÂMETROS DE SOLO E MÁQUINAS NA SEMEADURA DIRETA DE
MILHO E SOJA EM DUAS COBERTURAS DE SOLO SOBRE CAMPO
NATURAL**

Josué Fernando Beutler
Mestre em Ciência do Solo (UDESC)

Tese apresentada como
requisito à obtenção do
Grau de Doutor em Ciência do Solo

Porto Alegre (RS) Brasil
Julho de 2005

**À minha esposa, Eliane, e
meu filho Luis Felipe, pelo
apoio e compreensão nos
bons e maus momentos
DEDICO.**

AGRADECIMENTOS

Ao grande amigo e orientador Renato Levien, pela amizade, orientação, conselhos e por sua disposição.

Aos professores Carlos Ricardo Trein e Luis Fernando Coelho Souza, pela grande amizade e incentivo.

Ao professor Neroli Pedro Cogo, grande amigo e pensador.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pela oportunidade de aprendizado e convivência.

Ao povo Brasileiro que, embora sofrido, mantém seu apoio ao ensino público, gratuito e de qualidade.

Ao CNPq, pela concessão da Bolsa de Estudos.

Ao projeto CNPq-PRONEX-SOLOS, pelos recursos financeiros que permitiram a realização do experimento.

Ao funcionário do projeto CNPq-PRONEX-SOLOS, Técnico Agrícola Agostinho Oliveira, pela colaboração, dedicação e amizade.

A Estação Experimental Agronômica, pela cedência da área e pelo apoio recebido na condução do experimento.

Ao amigo Genei Dalmago pelo apoio, pelos conselhos e pela divisão do aluguel.

Aos colegas da Pós-Graduação, área de Mecanização Agrícola, Ricardo Herzog, Carla Cepik e Alexandre Xavier, pelo coleguismo, amizade e apoio.

Aos bolsistas de Iniciação Científica Marciel Spellmeier, Caio Borges, Guilherme Menegati e Osmar Conte pela amizade e apoio.

Ao grande amigo Luis Artur Tonelotto Saraiva, pela convivência e amizade sinceras.

Ao primo Andréas, pela convivência e amizade.

Ao meu pai Renato, minha mãe Nelda e meus irmãos Amassés e Cassiana, minha família e esteio para as horas difíceis.

Eliane seu amor e dedicação sempre foram minha motivação.

Ao Luis Felipe pelo seu desprendimento em estar pouco com seu pai, por sua alegria e seu interesse.

Obrigado.

PARÂMETROS DE SOLO E MÁQUINAS NA SEMEADURA DIRETA DE MILHO E SOJA EM DIFERENTES COBERTURAS DE SOLO SOBRE CAMPO NATURAL¹

Autor: Josué Fernando Beutler

Orientador: Renato Levien

RESUMO

Os campos naturais permanentes ou utilizados como pastagem, representam cerca de 60% da área do Estado do Rio Grande do Sul e é, seguramente, a maior área potencial para utilização com agricultura. Mesmo assim, são raros os trabalhos que estudaram mais detalhadamente a possibilidade da conversão direta do campo em lavoura utilizando a técnica da semeadura direta. Poucas pesquisas têm mostrado o comportamento do conjunto trator-semeadora, quando da realização da semeadura diretamente sobre campo natural e seus resultados quanto à produtividade, rentabilidade e demanda energética. Este trabalho tem por objetivo estudar o comportamento do conjunto trator-semeadora, operado diretamente sobre o campo natural, na implantação das culturas do milho e da soja, bem como avaliar sua produtividade, de modo a obter subsídios que permitam, ou não, a recomendação desta técnica para a conversão dos campos da região da Depressão Central do Rio Grande do Sul em terras agricultáveis. O ensaio foi conduzido na EEA-URGS, em Eldorado do Sul, sobre Argissolo Vermelho distrófico típico, utilizando o delineamento blocos casualizados, com parcelas subdivididas. Inicialmente se demarcou 4 blocos (repetições), com 6 parcelas de 25m x 5m cada um. Em cada bloco implantou-se 2 parcelas com o consórcio aveia preta+ervilhaca (A+E), 2 apenas com aveia preta (A), enquanto as outras duas permaneceram com campo natural (CN) no primeiro ano do ensaio e, em pousio (P), no segundo. Após o manejo das coberturas de inverno com herbicida total, 3 parcelas por bloco foram semeadas com milho e 3 com soja. Estas, por sua vez, foram subdivididas em duas profundidades de atuação da haste sulcadora de fertilizante, do tipo facão estreito, da semeadora (6 e 12 cm), quando da implantação das culturas de verão (milho e soja). Foram avaliados parâmetros de solo e de máquinas, a produção de milho e de soja e o balanço energético e financeiro nos anos agrícolas de 2002/03 e 2003/04. Em ambos os anos, o volume total de chuva foi bom, porém mal distribuído ao longo do ciclo das culturas de verão, resultando em perda de produtividade por deficiência hídrica. A massa seca de raízes no solo, antes da semeadura do milho e da soja, foi maior no tratamento A+E, mostrando aumento de um ano agrícola para outro. Isso não ocorreu no tratamento CN-P, que teve diminuição da quantidade de raízes e dos resíduos culturais na superfície do solo. No ano agrícola 2002/03, não foram atingidas as profundidades de sulcamento planejadas para deposição de adubo na semeadura das culturas do milho e da soja. No ano seguinte, também não, mas os valores foram mais próximos dos planejados. Na semeadura das culturas de verão, o esforço de tração medido na haste sulcadora de fertilizante da semeadora foi influenciado pelo teor de água do solo e com maiores valores no tratamento CN na safra 2002/03. Na safra 2003/04, não houve diferenças entre as condições de cobertura de inverno. No entanto, independentemente do ano agrícola e da condição de cobertura de inverno, a atuação da haste

sulcadora em maior profundidade implicou maiores valores de esforço de tração. O volume de solo mobilizado nos sulcos de semeadura foi influenciado tanto pelo número de linhas da semeadora-adubadora, como pela profundidade de atuação do sulcador de adubo tipo facão. Na operação de semeadura, os valores de patinação foram maiores na maior profundidade de sulcamento e, na safra 2003/04, nos tratamentos em que havia maior quantidade de resíduos de culturas anteriores sobre a superfície do solo (A e A+E). Na safra 2002/03, a produtividade de grãos das culturas de soja e milho foi maior no tratamento CN e, na do milho, na maior profundidade de sulcamento. Na safra 2003/04, a produção de milho foi maior no tratamento A+E, sem influência da profundidade de sulcamento. A da soja, não foi influenciada pelos tratamentos. Nos dois anos agrícolas, a maior demanda energética ocorreu nos tratamentos envolvendo coberturas de inverno. No balanço econômico, os custos também foram superiores onde foi utilizada a cobertura hiberna.

¹ Tese de Doutorado em Ciência do Solo, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. (107p.) – Julho, 2005. Trabalho realizado com apoio financeiro do Projeto CNPq-PRONEX/SOLOS

SOIL AND MACHINE PARAMETERS DIRECT DRILLING MAIZE AND SOYBEANS ON COVER CROPS AND NATURAL PASTURE LANDS¹.

Author: Josué Fernando Beutler

Adviser: Renato Levien

ABSTRACT

Natural permanent pasturelands are grown on 60% of Rio Grande do Sul, and are potential area for agricultural development. Even so, researches about more detailed studies on direct drilling on pastures are rare. Very few studies have been developed to see how the tractor-drillers work results in yield, energetic and financial results. With the aim of studying the tractor drill interaction when working maize and soybeans, as well as to evaluate grain yield, this work was designed. In this way, data could be collected to offer a choice to use the technique on camps of the Central Depression of Rio Grande do Sul. Experimental plots were chosen at the Agricultural Experimental Station in Eldorado do Sul, on an Oxissol. Random blocks were used as a statistical design. Four blocks with six plots (25 m x 5 m) were located. Two plots were drilled with oats+vetch, two with oats only, and two maintained natural vegetation. Each plot was drilled with maize or soybean (three plots in each block). The fertilizer furrow opener was used 6cm deep or 12 cm in each plot. Soil and machine parameters were evaluate, as the yield of maize and soybeans (two main summer cash crops) and the energy and financial balance during two growing seasons. In both seasons, there was enough rainfall but it was uneven, causing yields to be depressed due to water stress. Roots in soil before growing soybeans or maize, were higher on oats+vetch, showing increase from one year to the following, but for natural vegetation plots, who show reduction in root quantity. The trend show by roots was also followed by above soil biomass. First year the aimed working depths were not achieved. It happened next year, partially. Draft per shank was influenced by soil water being highest at native vegetation plot in 2002/03. In 2003/04, draft was similar in al plots. Deeper work required bigger draft. Tractor slippage was higher when shanks were used deeper and showed, in 2003/04 higher values when working on higher residues. Yield was higher on nature pasture cover for both crops in 2002/03 and deeper furrows for maize. During 2003/04, maize showed highest yield following oats+vetch and didn't show any difference related to depth. Soybeans showed similar yield irrespective of treatment. At both growing seasons highest energy costs were related to those treatments with winter cover crops. Financial results were higher on these as well.

¹Thesis in Soil Science, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (107p.) – July 2005. Financial support by CNPq-PRONEX/SOLOS

SUMÁRIO

| | | |
|--------|--|----|
| 1. | INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 2. | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 3 |
| 2.1 | Campo naturais..... | 3 |
| 2.2 | Uso do campo natural para produção de grãos..... | 5 |
| 2.3 | Importância da cobertura do solo em preparos conservacionistas..... | 5 |
| 2.4 | Espécies utilizadas como cobertura do solo..... | 7 |
| 2.5 | Manejo dos resíduos culturais..... | 9 |
| 2.6 | Efeito dos resíduos superficiais sobre o desempenho do trator e da semeadora, em semeadura direta..... | 10 |
| 2.7 | Desempenho econômico e energético de sistemas de produção agrícolas..... | 14 |
| 3. | MATERIAL E METODOS..... | 17 |
| 3.1 | Localização da área experimental..... | 17 |
| 3.2 | Características da área experimental..... | 17 |
| 3.3 | Culturas de cobertura de inverno..... | 18 |
| 3.4 | Culturas de verão | 19 |
| 3.5 | Tratamentos | 20 |
| 3.6 | Equipamentos de campo..... | 21 |
| 3.7 | Insumos agrícolas..... | 23 |
| 3.8 | Equipamentos de laboratório e coleta de amostras..... | 23 |
| 3.9 | AVALIAÇÕES E AMOSTRAGENS..... | 25 |
| 3.9.1 | Antes da semeadura das culturas de inverno..... | 25 |
| 3.9.2 | Antes da semeadura das culturas de verão..... | 26 |
| 3.8.3 | Durante a semeadura das culturas de verão..... | 26 |
| 3.8.4 | Após a semeadura das culturas de verão..... | 27 |
| 3.9.5 | Delineamento experimental e análise estatística dos dados..... | 27 |
| 3.9.6 | Estimativa do Balanço Energético..... | 28 |
| 3.9.7 | Estimativa do Balanço Econômico..... | 29 |
| 4. | RESULTADOS E DISCUSSÕES..... | 30 |
| 4.1 | Descrição química e física do solo..... | 30 |
| 4.2 | SAFRA 2002/2003..... | 33 |
| 4.2.1 | Condições de chuva e Evapotranspiração..... | 33 |
| 4.2.2 | Massa seca de raízes..... | 35 |
| 4.2.3 | Resíduos culturais sobre o solo na semeadura das culturas de verão..... | 36 |
| 4.2.4 | Esforço de tração na haste sulcadora de fertilizante..... | 37 |
| 4.2.5 | Área transversal e volume de solo mobilizado..... | 40 |
| 4.2.6 | Esforço de tração por área de solo mobilizada..... | 42 |
| 4.2.7 | Patinagem dos rodados do trator..... | 43 |
| 4.2.8 | Produtividade das culturas..... | 45 |
| 4.2.9 | Solo descoberto após a semeadura..... | 48 |
| 4.2.10 | Cobertura do solo por invasoras após a colheita do milho e da soja..... | 49 |
| 4.3 | SAFRA 2003/2004..... | 50 |
| 4.3.1 | Condições de chuva e Evapotranspiração..... | 51 |
| 4.3.2 | Massa seca de raízes..... | 52 |

| | | |
|---------|---|-----|
| 4.3.3 | Resíduos culturais sobre o solo na semeadura das culturas de verão..... | 53 |
| 4.3.4 | Esforço de tração na haste sulcadora de fertilizante..... | 54 |
| 4.3.5 | Área transversal e volume de solo mobilizado..... | 56 |
| 4.3.6 | Esforço de tração por área de solo mobilizada..... | 59 |
| 4.3.7 | Patinagem dos rodados do trator..... | 60 |
| 4.3.8 | Produtividade das culturas..... | 61 |
| 4.3.9 | Solo descoberto após a semeadura..... | 63 |
| 4.3.10 | Cobertura do solo por invasoras após a colheita do milho e da soja..... | 64 |
| 4.4 | Balanco de energia dos sistemas de produção | 65 |
| 4.4.1 | Entrada de energia (custos energéticos) | 66 |
| 4.4.1.1 | Entrada de energia nas culturas de inverno..... | 66 |
| 4.4.1.2 | Entrada de energia nas culturas de verão..... | 67 |
| 4.4.1.3 | Entrada total de energia dos sistemas de produção..... | 68 |
| 4.4.2 | Saídas de energia (ganhos energéticos) | 70 |
| 4.4.3 | Balanco de energia e indicadores da eficiência energética..... | 73 |
| 4.5 | Balanco econômico dos sistemas de produção..... | 75 |
| 5. | CONCLUSÕES..... | 79 |
| 6. | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 80 |
| 7. | APENDICE | |
| 7.1 | Croqui da área experimental..... | 98 |
| 7.2 | Variáveis climáticas, safra 2002/2003..... | 99 |
| 7.3 | Variáveis climáticas, safra 2003/2004..... | 103 |

LISTA DE TABELAS

| Tabelas | Pág. |
|---|------|
| 1. Caracterização química do solo antes da instalação do experimento, maio/junho de 2002..... | 30 |
| 2. Caracterização física do solo, antes da instalação do experimento (julho de 2002)..... | 31 |
| 3. Valores de densidade e porosidade, em duas profundidades do solo, após o cultivo de inverno e antes da semeadura do milho e da soja (em novembro de 2002)..... | 32 |
| 4. Dias após a semeadura (DAS) dos principais estádios das culturas do milho e da soja, safra 2002/2003..... | 34 |
| 5. Massa seca de raízes em duas profundidades em função de diferentes tratamentos antes da semeadura do milho e da soja, novembro de 2002..... | 36 |
| 6. Massa seca de resíduos culturais em função de diferentes manejos de coberturas de inverno, na superfície do solo antes da semeadura das culturas de milho e soja (novembro 2002)..... | 37 |
| 7. Profundidade média do sulco formado pela haste sulcadora de fertilizante, na semeadura de milho e soja (novembro de 2002)..... | 37 |
| 8. Profundidade máxima de atuação da haste sulcadora, na semeadura de milho e soja, em duas profundidades de atuação do sulcador de fertilizante (novembro de 2002)..... | 38 |
| 9. Esforço (kN) para tracionar uma haste sulcadora de fertilizante, em três coberturas do solo, na semeadura de milho e soja (novembro de 2002)..... | 39 |
| 10. Esforço (kN) para tracionar uma haste sulcadora de fertilizante, em duas profundidades de atuação, na semeadura do milho e da soja (novembro de 2002)..... | 39 |
| 11. Área da secção transversal de solo mobilizada pela haste sulcadora de fertilizante, em função dos resíduos culturais anteriores na semeadura do milho e da soja (novembro de 2002)..... | 41 |
| 12. Área da secção transversal de solo mobilizada pela haste sulcadora de fertilizante, em função da profundidade de atuação, na semeadura do milho e da soja (novembro de 2002)..... | 41 |
| 13. Volume de solo mobilizado pela haste sulcadora de fertilizante, em função dos resíduos culturais anteriores na semeadura do milho e da soja (novembro de 2002)..... | 42 |
| 14. Volume de solo mobilizado na semeadura de milho e soja em duas profundidades de atuação da haste sulcadora de fertilizante (novembro de 2002)..... | 42 |

| | | |
|-----|---|----|
| 15. | Esforço necessário para a mobilização do solo ($N\text{ cm}^{-2}$) em função da cultura anterior na semeadura de milho e soja (novembro de 2002)..... | 43 |
| 16. | Esforço necessário para a mobilização do solo ($N\text{ cm}^{-2}$) em duas profundidades de atuação da haste sulcadora de fertilizante na semeadura de milho e soja (novembro de 2002)..... | 43 |
| 17. | Patinagem das rodas motrizes do trator em função dos tratamentos anteriores a semeadura de milho e soja, novembro de 2002..... | 44 |
| 18. | Patinagem das rodas motrizes do trator em função da profundidade de atuação da haste sulcadora de fertilizante na semeadura de milho e soja, novembro de 2002..... | 45 |
| 19. | Produtividade do milho função da cobertura por resíduos vegetais anteriores e da profundidade de atuação da haste sulcadora adubadora na semeadura (safra 2002/03)..... | 46 |
| 20. | Produtividade da cultura da soja em função dos tratamentos de cobertura do solo no inverno (safra 2002/03)..... | 47 |
| 21. | Produtividade da soja em função da profundidade de atuação da haste sulcadora adubadora na semeadura da soja (safra 2002/03)..... | 48 |
| 22. | Solo descoberto após a operação de semeadura do milho e da soja nas diferentes culturas antecedentes (novembro de 2002)..... | 48 |
| 23. | Solo descoberto após a operação de semeadura do milho e da soja em função da profundidade de atuação da haste sulcadora de fertilizante na semeadura de milho e soja, novembro de 2002..... | 49 |
| 24. | Cobertura do solo por invasoras após a colheita do milho e da soja (maio 2003)..... | 50 |
| 25. | Dias após a semeadura (DAS) dos principais estádios das culturas do milho e da soja, safra 2003/2004..... | 52 |
| 26. | Massa seca de raízes em duas profundidades em função de diferentes tratamentos antes da semeadura do milho e da soja, novembro de 2003..... | 53 |
| 27. | Massa seca de resíduos culturais em função dos tratamentos de coberturas de inverno, na superfície do solo antes da semeadura das culturas de milho e soja (novembro 2003)..... | 54 |
| 28. | Profundidade do sulco formado pela haste sulcadora de fertilizante, na semeadura de milho e soja (novembro de 2003). | 55 |
| 29. | Profundidade máxima de atuação da haste sulcadora, na semeadura de milho e soja, em duas profundidades de atuação da haste sulcadora de fertilizante (novembro de 2003)..... | 55 |
| 30. | Esforço para tracionar uma haste sulcadora de fertilizante, em diferentes coberturas do solo, na semeadura de milho e soja (novembro de 2003)..... | 56 |
| 31. | Esforço (kN) para tracionar uma haste sulcadora de | |

| | | |
|-----|--|----|
| | fertilizante, em diferentes profundidades de atuação, na semeadura do milho e da soja (outubro de 2003)..... | 56 |
| 32. | Área da secção transversal de solo mobilizada pela haste sulcadora de fertilizante, em função dos resíduos culturais anteriores na semeadura do milho e da soja (novembro 2003)..... | 57 |
| 33. | Área da secção transversal de solo mobilizada pela haste sulcadora de fertilizante, em função da profundidade de atuação, na semeadura do milho e da soja (novembro de 2003)..... | 57 |
| 34. | Volume de solo mobilizado pela haste sulcadora de fertilizante, em função dos resíduos culturais anteriores na semeadura do milho e da soja (novembro de 2003)..... | 58 |
| 35. | Volume de solo mobilizado na semeadura de milho e soja em duas profundidades de atuação da haste sulcadora de fertilizante (novembro 2003)..... | 58 |
| 36. | Esforço necessário para a mobilização do solo ($N\text{ cm}^{-2}$) em função da cultura anterior na semeadura de milho e soja (novembro de 2003)..... | 59 |
| 37. | Esforço necessário para a mobilização do solo ($N\text{ cm}^{-2}$) em duas profundidades de atuação da haste sulcadora de fertilizante na semeadura de milho e soja (novembro de 2003)..... | 59 |
| 38. | Patinagem das rodas motrizes do trator, em função de diferentes tipos de resíduos na superfície do solo e profundidade de atuação da haste sulcadora de fertilizante, na semeadura do milho (novembro de 2003)..... | 60 |
| 39. | Patinagem das rodas motrizes do trator, em função de diferentes tipos de resíduos na superfície do solo e profundidade de atuação da haste sulcadora de fertilizante, na semeadura de soja (novembro de 2003)..... | 61 |
| 40. | Produtividade do milho e soja em função da cobertura por resíduos vegetais anteriores à semeadura, safra 2003/04, Eldorado do Sul, RS..... | 62 |
| 41. | Produtividade das culturas do milho e da soja em função da regulagem da profundidade de atuação da haste sulcadora de fertilizante, Eldorado do Sul – RS, safra 2003/04..... | 63 |
| 42. | Solo descoberto após a operação de semeadura do milho e da soja (novembro 2003)..... | 64 |
| 43. | Solo descoberto após a operação de semeadura do milho e da soja em função da profundidade de atuação da haste sulcadora de fertilizante na semeadura de milho e soja, novembro de 2003..... | 64 |
| 44. | Cobertura do solo por invasoras após a colheita do milho e da soja (maio 2004)..... | 65 |
| 45. | Custos energéticos, em $MJ\text{ ha}^{-1}$ e em valores percentuais das diferentes culturas de cobertura do solo (inverno 2002)..... | 66 |
| 46. | Custos energéticos, em $MJ\text{ ha}^{-1}$ e em valores percentuais das diferentes culturas de cobertura do solo (inverno 2003)..... | 67 |

| | | |
|-----|--|----|
| 47. | Custos energéticos, em MJ ha ⁻¹ e em valores percentuais das culturas do milho e da soja (safra 2002/03)..... | 67 |
| 48. | Custos energéticos, em MJ ha ⁻¹ e em valores percentuais das culturas do milho e da soja (safra 2003/04)..... | 68 |
| 49. | Custos energéticos, em MJ ha ⁻¹ e em valores percentuais nas diferentes culturas de cobertura de inverno antecessoras ao milho, safra 2002/03 e 2003/04)..... | 68 |
| 50. | Custos energéticos, em MJ ha ⁻¹ e em valores percentuais nas diferentes culturas de cobertura de inverno antecessoras a soja, safra 2002/03 e 2003/04..... | 70 |
| 51. | Conteúdo energético (MJ ha ⁻¹) dos resíduos culturais das culturas antecessoras a do milho e da soja, anos 2002 e 2003..... | 71 |
| 52. | Conteúdo energético (MJ ha ⁻¹) dos resíduos culturais e grãos no sistema de produção para milho, nas safras 2002/03 e 2003/04..... | 72 |
| 53. | Conteúdo energético (MJ ha ⁻¹) dos resíduos culturais e grãos no sistema de produção para soja, nas safras 2002/03 e 2003/04..... | 72 |
| 54. | Variáveis de eficiência energética (MJ ha ⁻¹) para produção e manejo da cultura do milho, safra 2002/03..... | 73 |
| 55. | Variáveis de eficiência energética (MJ ha ⁻¹) para produção e manejo da cultura do milho, safra 2003/04..... | 74 |
| 56. | Variáveis de eficiência energética (MJ ha ⁻¹) no sistema de produção da cultura da soja, safra 2002/03..... | 74 |
| 57. | Variáveis de eficiência energética (MJ ha ⁻¹) no sistema de produção da cultura da soja, safra 2003/04..... | 75 |
| 58. | Custos de produção e resultados econômicos para o milho nos diferentes tratamentos, safra 2002/03..... | 76 |
| 59. | Custos de produção e resultados econômicos para o milho nos diferentes tratamentos, safra 2003/04..... | 77 |
| 60. | Custos de produção e resultados econômicos para a soja nos diferentes tratamentos, safra 2002/03..... | 78 |
| 61. | Custos de produção e resultados econômicos para a soja nos diferentes tratamentos, safra 2003/04..... | 78 |

LISTA DE FIGURAS

| Figura | | Pág. |
|--------|--|------|
| 1. | Evapotranspiração e chuvas (mm) no período de outubro de 2002 a abril de 2003..... | 33 |
| 2. | Evapotranspiração e chuvas (mm) no período de outubro de 2003 a abril de 2004..... | 51 |
| 3. | Distribuição, valores percentuais, dos custos energéticos para produção do milho nos três tratamentos antecessores utilizados, safras 2002/03 e 2003/04..... | 69 |
| 4. | Distribuição, valores percentuais, dos custos energéticos para produção da soja nos três tratamentos antecessores utilizados, safras 2002/03 e 2003/04..... | 70 |

1. INTRODUÇÃO

Na atual situação que se encontram os setores agrícola e pecuário do Rio Grande do Sul, a qualidade total e a preocupação com a conservação do solo e a preservação dos recursos naturais provocam mudanças no processo produtivo, além da globalização da economia e do Mercosul (Rodrigues et al., 1996).

Os campos naturais permanentes ou utilizados como pastagem, representam grande parte (cerca de 60%) da área do estado do Rio Grande do Sul, e seguramente a maior área potencial de utilização para agricultura, isoladamente ou em integração com sistema lavoura-pecuária.

A conversão destes campos em áreas de lavoura tem sido realizada através de técnicas que visam melhorar sua fertilidade, e ainda, se possível, torná-lo melhor do ponto de vista físico. Desta forma, é comum, ainda hoje, pesquisadores e extensionistas recomendarem correções com elevadas doses de calcário, adubações pesadas e técnicas de preparo do solo que envolve aração e gradagens, alterando totalmente o estado atual físico deste solo, para só daí passar a ocupá-lo com culturas agrícolas. Além de grandes despesas com insumos, essa técnica exige, por parte do produtor, pesados investimentos na aquisição e manutenção de tratores, máquinas e implementos utilizados nas diversas fases do preparo e sistematização do solo.

Embora esses investimentos permitam à rápida conversão dos campos naturais em lavouras, questões como a conservação do solo, passam, num primeiro momento, desapercibidas e, com o passar do tempo, exigem a utilização de técnicas de preparo e manejo do solo conservacionistas. Na maioria dos casos, as lavouras preparadas convencionalmente (com uso de arado e grade), são convertidas em lavouras de semeadura direta, onde o preparo do solo não é outro do que a mobilização do solo nas linhas de semeadura, realizada pela própria semeadora, deixando o restante da

superfície do solo sem mobilização e com resíduos de culturas anteriores na superfície, sendo esta, portanto, uma nova conversão da área originalmente de campo natural. Este novo sistema de cultivo, de menor impacto ambiental e exigência de investimentos, deixa, no entanto, sem utilização os equipamentos adquiridos para realização da conversão.

O avanço no uso dos denominados sistemas conservacionistas de preparo do solo, visando sua conservação, sustentabilidade e economia de recursos aplicados ao preparo e semeadura, tem levado a uma intensa expansão da área de cultivo em semeadura direta.

São ainda raros os trabalhos que estudaram mais detalhadamente a possibilidade da conversão direta do campo em lavoura utilizando, já no primeiro ano, a técnica da semeadura direta e, portanto, evitando os altos investimentos iniciais para realização da conversão pelo modo tradicional. Poucos trabalhos de pesquisa têm mostrado o comportamento do conjunto trator-semeadora, quando da realização da semeadura diretamente sobre campo natural, bem como efeito da correção e fertilização do solo na superfície e produtividade de culturas comerciais.

Este trabalho teve como objetivo estudar o comportamento do conjunto trator-semeadora, operado diretamente sobre o campo natural, na implantação das culturas do milho e da soja, bem como avaliar sua produtividade, de modo a obter subsídios que permitam ou não a recomendação desta técnica para a conversão dos campos da região da Depressão Central do RS em terras agricultáveis.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Campo naturais

Estima-se que o Rio Grande do Sul tenha aproximadamente 12 milhões de hectares, em torno de 66% da área total do Estado, de solos sob vegetação de campo natural utilizados, em grande parte, com pecuária de corte (Rodrigues et al., 1996; Pöttker & Ben, 1998). Para Ben et al. (1998), a produção animal no Sul do Brasil depende, basicamente, de pastagens naturais, formadas por espécies de ciclo estival.

A riqueza de espécies presentes no campo natural é marcante, estando a família das gramíneas representada por cerca de 800 espécies e das leguminosas por outras 200 (Rodrigues et al., 1996). Entretanto alguns pesquisadores descrevem os campo naturais do Rio Grande do Sul como macegosos e até arbustivos, constituídos de espécies gramíneas cespitosas de alto porte (Rodrigues et al., 1996).

Os principais fatores que concorrem para a degradação das pastagens naturais são o superpastoreio, o tamanho dos poteiros, o uso indiscriminado do fogo, a rotação de espécies animais e a agricultura em áreas de campo não apropriadas para tal (Gonçalves, 1993). O mesmo autor coloca que o uso de carga animal compatível com a produção, o uso de cercas e aguadas, sol e sombra, a limpeza do campo, a adubação e, ainda, a introdução de forrageiras cultivadas sobre campo natural, são fatores que contribuem para o melhoramento das pastagens naturais.

Tem se verificado que o efeito do pisoteio causa uma certa compactação na camada de 6 a 8 cm de profundidade do solo (Mello, 1996a). Em épocas muito chuvosas, a compactação devida à pressão do pisoteio pode atingir até 11 cm de profundidade (Rodrigues et al., 1996).

Esta pressão de pisoteio, aliada à interferência do homem pelo manejo inadequado dos campos, pode modificar a composição botânica dos campos, degradando a vegetação e os solos, podendo causar graves problemas de erosão (Rodrigues et al., 1996).

O excesso de lotação pode conduzir a um aumento na compactação do solo, diminuindo a infiltração, a difusão de oxigênio e prejudicando o crescimento e desenvolvimento de raízes (Nabinger, 1980). Trein et al. (1991) verificaram que o pisoteio do gado causou aumento na densidade do solo e na sua resistência ao penetrômetro, com conseqüente diminuição da macroporosidade e capacidade de infiltração de água na camada superficial.

Onde a pressão de pastejo é maior, o desfolhamento das pastagens é mais severo, causando um maior estresse nas plantas. O desfolhamento mais intenso das pastagens caracteriza-se por uma maior remoção da parte aérea, o que obriga as pastagens a utilizarem as reservas contidas nas raízes, paralisando o crescimento do sistema radicular, em detrimento da recuperação da parte aérea (Taylor, 1981).

Os poteiros de campos naturais excessivamente lotados com animais, ficam rapados e os inços, tais como o alecrim (*Vernonia sp.*) e a carqueja (*Baccharis sp.*), sem concorrência, se multiplicam. Os pastos baixos não formam sistema radicular, o solo compacta e, qualquer falta de água já afeta a pastagem, devido ao sistema radicular deficiente para absorvê-la (Pereira, 1993). A degradação das pastagens é geralmente acompanhada de degradação do solo por efeito da erosão, devido à diminuição da cobertura que o protegia contra a ação das gotas da chuva e do vento e reduzia o escoamento superficial (Nabinger, 1980).

Quando a situação de degradação do campo natural chega a um ponto que as espécies remanescentes são de pouco proveito para a exploração animal, as boas espécies não se fazem mais presentes, nem mesmo através de sementes. Deste modo, somente a fertilização e a introdução de novas espécies restará como alternativa de melhoramento (Nabinger, 1980) ou ainda, conversão, temporária ou permanente, para a agricultura.

2.2 Uso do campo natural para produção de grãos

Parte dos campos naturais do RS apresentam solos com elevada acidez e que, se convenientemente corrigidos, podem ser incorporados ao processo produtivo de grãos ou utilizados para produção de pastagens introduzidas, principalmente leguminosas (Pöttker & Ben, 1998), representando uma nova fronteira agrícola, de dimensões expressivas (Ben et al, 1998).

A viabilidade de introdução de forrageiras de inverno em solos de campos naturais, bem como a utilização destas áreas para a produção de grãos depende, fundamentalmente, da solução de problemas relacionados com a acidez e com a fertilidade do solo (Ben et al, 1998) e, ainda, com seu estado de compactação.

A incorporação do calcário e de fertilizantes nas áreas de campo natural, através de aração e das gradagens, destrói a estrutura do solo e tem um custo inicial relativamente alto (Pöttker & Ben, 1998).

Ben et al. (1998) estudaram a viabilidade da introdução de forrageiras de inverno sobre campo natural, em dois locais num Latossolo (Unidade Passo Fundo), ácido e sem a eliminação da pastagem natural, com diferentes doses e métodos de aplicação de calcário. Observaram que, já no primeiro ano de cultivo, a semeadura de aveia (utilizando semeadora) se mostrou viável.

Da mesma forma, Pöttker et al. (1994), avaliaram o cultivo de culturas anuais em semeadura direta, em solos ácidos, com eliminação da pastagem natural e com diferentes modos de aplicação de calcário em solo pertencente à unidade de mapeamento Passo Fundo. O sistema demonstrou a viabilidade do cultivo da soja com a aplicação de calcário em superfície, antes da semeadura da cultura antecessora (aveia preta) ou aplicado na linha de semeadura da soja, diretamente em campo natural.

2.3 Importância da cobertura do solo em preparos conservacionistas

O sucesso da semeadura direta, como sistema conservacionista do solo, está diretamente ligado à proteção oferecida pela presença de palha e outros resíduos culturais na superfície do solo.

A presença de palha deve ocorrer em quantidade o suficiente para que exista o controle da erosão, e, além da quantidade, deve permanecer na superfície até que a cultura posterior proteja o solo pela sua cobertura. Entende-se por sistema de preparo do solo conservacionista aquele que mantiver, ao menos, 30% de cobertura do solo por resíduos da cultura anterior até a germinação e o estabelecimento da cultura subsequente (Erenstein, 2002).

Vários autores obtiveram perdas de solo cerca de 80% menores em cultivos com a manutenção de resíduos em cobertura na superfície do solo, em relação ao preparo convencional, onde remanesce pequena quantidade de resíduos após sua execução (Cogo, 1981; Bertol et al., 1989; Beutler, 2000).

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

O manejo e a forma de distribuição da palhada interfere na quantidade de resíduos, na taxa de cobertura, na taxa de decomposição e na mineralização dos resíduos. Cogo (1981) afirmou que, independentemente do sistema de manejo, o aumento da cobertura proporcionou acentuada redução na perda de solo, notadamente até 40 a 50% de cobertura superficial por resíduos culturais. Bertol et al. (1986) concluíram que, independentemente do sistema de preparo utilizado, a cobertura média de 60% resultou em acentuada redução das perdas de solo, quando comparadas à ausência de cobertura.

A persistência de resíduos culturais sobre o solo é de fundamental importância para a redução da erosão hídrica (Alves et al., 1998), por evitar o impacto direto da gota de chuva, que provoca a desagregação das partículas e a formação do selamento superficial, sendo o principal fator isolado de controle da erosão hídrica (Roth et al., 1991; Ros & Aita, 1996).

A semeadura direta é uma prática conservacionista especialmente adequada para as condições de ambiente de regiões tropicais, onde é necessário manter o solo protegido do sol e da chuva (Seguy et al., 1996). O sistema de semeadura direta é uma forma de preparar o solo que leva em conta estes fatores, substituindo sistemas mecânicos por processos biológicos,

ou seja, a matéria orgânica sobre a superfície e o não revolvimento do solo cria condições para que a micro e mesobiotas presente passe a atuar, produzindo um solo estruturado, pronto para ser semeado (Lal, 1991; Mielniczuk, 1997).

2.4 Espécies utilizadas como cobertura do solo

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

A utilização de sistemas manejo do solo sem revolvimento e alta adição de resíduos culturais, por cinco anos, promoveu aumento nos teores de Carbono total e na CTC do solo, com reflexo na maior retenção de cátions. Isso indica ser viável, em médio prazo, a recuperação de solos degradados por sistemas de manejo, (Bayer & Mielniczuk, 1997).

Segundo Levien et al. (2001), a cultura da aveia preta proporcionou uma maior manutenção da porosidade do solo quando esta é manejada somente com o uso da dessecação, sem a passagem do rolo-faca ou do triturador, independente do tipo de preparo do solo.

Gramíneas de verão como o milho, cultivadas após a aveia preta, em relação à utilização de leguminosas, apresentaram menores valores de N nas plantas e menor produtividade de grãos (Pavinato et al., 1994; Pöttker et al., 1994; Ros & Aita, 1996). A deficiência de N em campo natural ou em pastagens cultivadas possivelmente seja devida à imobilização desse nutriente pelos microorganismos na decomposição de material originado predominantemente de gramíneas, com elevada relação C:N (Ben et al., 1998; Ros & Aita, 1996).

Os microorganismos do solo, ao utilizarem o carbono da palha para a biossíntese e também como fonte de energia, imobilizam o nitrogênio mineral da palha de aveia e do solo, diminuindo sua disponibilidade para o milho. Sabendo-se disto, se o objetivo for dar suprimento de nitrogênio ao solo, deve-se escolher, como cultura antecedente ao milho, uma leguminosa. Porém, se o

objetivo for a manutenção de cobertura permanente do solo, a preferência deve ser pela aveia (gramínea), que apesar de reduzir a disponibilidade de nitrogênio no solo e afetar negativamente a produção de milho, é uma alternativa interessante para o controle da erosão (Ros & Aita, 1996).

Métodos de preparo que favorecem a mineralização da matéria orgânica, com destaque para a aração, podem promover um rápido declínio nos teores de nitrogênio (N) do solo e, conseqüentemente, da qualidade do mesmo, enquanto que, ao contrário, quando a mobilização for reduzida, pode ser possível manter ou até aumentar os níveis de N no solo (Santi, 2001).

Na semeadura direta, comparativamente ao preparo convencional, pode-se afirmar que a mineralização do N é mais lenta (Sidiras & Pavan, 1985) devido, principalmente, ao não fracionamento físico e ao menor contato do material orgânico com o solo, evitando assim, a ação rápida de microorganismos (Amado et al., 2000).

Desta forma, a manutenção dos resíduos na superfície e o uso de culturas eficientes em absorver e/ou armazenar N na sua fitomassa podem melhorar o balanço do N no solo (Ben et al, 1998).

A introdução de leguminosas fixadoras de N e dotadas de relação C:N menor do que a das gramíneas, bem como o manejo das pastagens naturais, visando o favorecimento de leguminosas, melhoria no aproveitamento dos dejetos animais e sobras de pasto, podem constituir práticas importantes para aumentar a disponibilidade de N para as plantas (Ben et al, 1998).

Mello (1996b) verificou que a consorciação de aveia preta ou azevém com ervilhaca ou ervilha forrageira possibilitou a semeadura direta do milho, no mês de setembro, na região de Ijuí – RS. A ervilhaca apresentou alto potencial de fornecimento de N ao milho, atingindo de 77 a 88% da produtividade obtida com a adubação mineral (Santi, 2001). Amado et al. (2000), também obtiveram produção semelhante utilizando a sucessão ervilhaca/milho.

Segundo Aita et al. (1994), a quantidade de N absorvido pela parte aérea das plantas leguminosas foi significativamente maior do que aquela acumulada pela aveia preta, e isso refletiu na quantidade absorvida e na concentração de N na cultura do milho cultivado em sucessão às leguminosas, assim como na produtividade de grãos, o qual foi equivalente ao uso de N mineral em área mantida em pousio no inverno.

Para a semeadura de soja sobre aveia preta pastejada, deve-se diferir a pastagem no mínimo 45 dias antes da semeadura, permitindo o rebrote da aveia e formando matéria seca, além de recuperar um pouco a densidade do solo pelo crescimento do sistema radicular (Mello, 1996a; Mello, 1996b), com objetivo de deixar, no mínimo, 2 a 3 Mg ha⁻¹ de massa seca após a dessecação da área (Mello, 1996b).

Nóbrega et al. (2001) concluíram que a cultura da soja sofreu alelopatia com resíduos culturais de inverno como aveia preta, trigo, milho, colza e nabo-branco, ocorrendo influência na germinação das plântulas e no comprimento da parte aérea, radícula e peso de matéria seca das plântulas.

Segundo Casão Junior et al. (1992a), a semeadura direta com tração animal foi viável em pequenas propriedades que utilizaram leguminosas como plantas de cobertura no sistema de rotação de culturas, para incorporar nitrogênio ao solo, aliado ao uso de herbicidas, que foram aplicados para o controle de invasoras, pois o controle mecânico foi problemático ou muito oneroso para ser efetuado.

2.5 Manejo dos resíduos culturais

Segundo Ruedell (1995), é recomendável efetuar o manejo químico ou mecânico da palha de aveia antes da semeadura da cultura de verão, objetivando uma cobertura mais uniforme e eficiente no controle das plantas daninhas e um ambiente mais propício à germinação e crescimento da cultura.

O manejo mecânico da cobertura do solo pode ser feito, com a utilização de picador de palhas montado em colhedoras ou em tratores, rolo faca, roçadoras e grade de discos, sendo estes dependentes do estágio de desenvolvimento das culturas, o que não ocorre com a utilização de métodos químicos (dessecação com herbicidas) (Denardin & Kochhann, 1993).

Mello & Yano (2001) observaram menores valores de cobertura do solo, quando resíduos culturais de milho foram manejados com rolo faca, em relação ao uso de herbicida, justificado pelo fato do equipamento ter causado acamamento e, com isso, proporcionado um maior contato da palha com o solo e, conseqüentemente, maior decomposição. Segundo Denardin & Kochhann, (1993), esse procedimento também facilita semeadura da cultura subsequente.

Quando não se deseja uma rápida decomposição dos resíduos, deve-se deixar a cobertura morta em pé, ou seja, com o menor contato possível com a superfície do solo (Levien, 1999), o que é obtido com o uso da dessecação química. Esta situação pode facilitar o estabelecimento de invasoras, caso a quantidade cobertura morta for baixa ou muito baixa, pois o solo não ficará coberto adequadamente.

Conforme Yamaoka (1984), se não houver fragmentação ou se os restos forem mal distribuídos, as plantas daninhas serão protegidas da pulverização ou poderá ocorrer redução da eficiência dos herbicidas residuais e embuchamentos na operação de semeadura. O mesmo autor afirma que isto indica que o manejo das culturas deve viabilizar as operações envolvidas nos preparos conservacionistas de solo, podendo ter a finalidade de reduzir o comprimento das coberturas vegetais e permitir melhores condições para o preparo do solo ou proporcionar o dessecamento e morte da vegetação, importante no caso da semeadura direta.

2.6 Efeito dos resíduos superficiais sobre o desempenho do trator e da semeadora, em semeadura direta.

O desenvolvimento radicular, rendimento e desempenho da maquinaria são influenciados pela resistência do solo à penetração e ao cisalhamento, os quais são dependentes do teor de água no mesmo. Solos mais compactos aumentam o desempenho dos pneus, porém requerem mais potência, combustível e tempo para serem preparados e causam maior desgaste nas máquinas e equipamentos do que os não compactados. Além disso, nestas condições, os equipamentos de preparo e semeadura normalmente não funcionam adequadamente (Schuler & Wood, 1992).

O teor de água e o estado em que se encontra o solo (vegetação, resíduos, grau de compactação) tem grande influência na exigência de força de tração e no desempenho da maquinaria no campo (Fornstron & Becker, 1977). Summer et al. (1986) observaram que pequenas mudanças na profundidade de trabalho ou na velocidade podem afetar significativamente o consumo horário de combustível e a energia demandada das operações de preparo do solo.

Os solos submetidos à semeadura direta possuem tendência ao aumento de homogeneidade com o tempo, e o padrão de porosidade revela uma importante diferença com relação aos solos cultivados convencionalmente. Deste modo, o espaço relativo ocupado por cada fração de tamanho dos poros varia menos do que sob solo arado (Baumer & Bakermans, 1973). Segundo Kladvko et al., (1986) ocorre uma melhora significativa da estabilidade e agregação em solos sob semeadura direta, além de um maior conteúdo de matéria orgânica total, devido a maior mineralização, em relação ao preparo convencional.

Em solos não intensamente mobilizados ou revolvidos, a resistência à penetração e a densidade do solo alcançam valores maiores na superfície, enquanto que em solos sob preparo, os valores são maiores entre as profundidades de 0,25 e 0,30 m. Aase & Pikul (1994) afirmam que, à exceção dos primeiros cinco centímetros superficiais, solos utilizados com semeadura direta geralmente apresentam valores de resistência à penetração e de densidade significativamente menores do que aqueles com preparo convencional, até a profundidade de 30 cm. Isto indica que os preparos que aparentemente deixam o solo mais poroso logo após a sua execução, em longo prazo tem um efeito negativo sobre esta propriedade física.

Um dos fatores mais facilmente perceptíveis, ao se avaliar o desempenho de um trator é a patinagem. Herzog (2003) verificou que o aumento nas doses de resíduos de aveia preta sobre o solo proporcionou aumento na patinagem do trator, quando da semeadura direta da cultura da soja. Os autores relatam, ainda, um aumento no percentual de patinagem em função do aumento da profundidade de atuação das hastes sulcadoras de adubo.

Para semeadura direta em campo natural, Mello (1996a) recomenda utilizar semeadoras com sulcador (haste) e disco de corte.

Um dos problemas inicialmente enfrentados na adoção de preparos conservacionistas que empregam equipamentos de hastes (facão) foi o embuchamento causado pelos restos culturais sobre a superfície do solo (Derpsch et al., 1986). Casão Junior et al. (1992b), afirmam que a maior limitação relatada pelos agricultores de pequena propriedade para a utilização total da área disponível para cultivos foi em relação ao preparo do solo. Os

problemas mais comuns verificados pelos autores foram embuchamentos, baixo rendimento operacional dos implementos disponíveis e a falta ou excesso de umidade do solo (Casão Junior et al., 1992b).

Através de um questionário, aplicado a agricultores e técnicos extensionistas, com o objetivo de verificar entraves e problemas de mecanização na semeadura direta, na margem do lago da usina de Itaipu, no Paraná, Siqueira & Casão Junior (2003) indicaram a compactação do solo, o embuchamento e o elevado teor de água no solo na semeadura como os maiores entraves do processo de mecanização na semeadura direta na região. Além disso, a falta de rotação de culturas foi relatada como o maior problema fitotécnico.

Com a utilização de discos de corte ou segas circulares colocados a frente das hastes (American Society of Agricultural Engineers, 1996), este problema pode ser eliminado, além de conseguir-se uma redução de 15% no esforço de tração e de 12% na resistência do solo ao cisalhamento (Balbuena et al., 1998a; Balbuena et al., 1998b). Levien et al. (2004) obtiveram redução de 50% de esforço medido em haste sulcadora de adubo da semeadora com o disco de corte operando a 0,05m, independentemente do solo possuir ou não sistema radicular em atividade.

As semeadoras devem trabalhar em condições de alta variabilidade de solos e resíduos, devem conseguir penetração dos órgãos sulcadores mesmo em solos mais compactados superficialmente e possuir eficiente controle de profundidade de deposição e de compactação das sementes (Hoffman & Solie, 1992; Satler, 1995).

O desenvolvimento e a produtividade das culturas dependem de diversos fatores, entre eles, as propriedades físicas do solo. Para tanto, a configuração dos elementos sulcadores deve respeitar as propriedades físicas do solo, razão pela qual há disponibilidade de diversos tipos de elementos sulcadores (Portella, 1983).

Boller et al. (1992), demonstraram que o método de preparo do solo poderá influenciar a força de tração e a necessidade de potência para operar uma semeadora-adubadora. O equipamento pode influenciar o esforço de tração conforme o tipo de ferramenta usada, as características do metal que está em contato com o solo, a superfície de contato com o solo, a curvatura, a

forma e as condições da ferramenta onde a força é aplicada, regulagens, ângulo de tração e manutenção.

Avaliando a resposta da cultura do milho e a densidade do solo em diferentes preparos (semeadura direta, arado de discos + grade de discos, escarificação + grade de discos e um protótipo de escarificador), Klein & Boller (1995) verificaram que o uso do sulcador tipo facão na semeadora-adubadora afetou positivamente a produtividade de grãos da cultura do milho no tratamento semeadura direta e que os valores de densidade na camada de 0 a 5 cm sofreram acréscimo, demonstrando compactação superficial no mesmo.

Siqueira et al. (2001) concluíram, em trabalho envolvendo quatro semeadoras-adubadoras com sulcadores do tipo facão com características distintas, que foi possível, no sistema de semeadura direta, selecionar máquinas com menor exigência energética. Também concluíram que semeadoras adubadoras operadas a velocidades mais baixas ($4,7 \text{ km h}^{-1}$) exigiram menor força de tração, potência e demanda de energia, quando comparadas a velocidades mais altas ($8,3 \text{ km h}^{-1}$).

A má distribuição dos resíduos causa efeito sobre a incidência de invasoras, devido à permanência de faixas com menor cobertura do solo e assim mais propicia a infestação. O mecanismo de corte da palha da semeadora pode se tornar ineficiente na faixa onde ocorreu maior concentração de palha. Nos preparos conservacionistas, em que há alguma mobilização do solo, podem ocorrer embuchamentos constantes. Outros problemas poderão ocorrer como diferenças de temperatura, teor de água, insolação e de nutrientes, especialmente de nitrogênio (Douglas et al., 1980; Derpsch et al., 1991).

Remanescem, no solo, as raízes que mesmo se decompondo, auxiliam na reestruturação, infiltração de água, descompactação biológica de acamadas compactadas e reposicionamento de nutrientes (Hargrove, 1997).

O crescimento radicular das plantas não tem sido afetado negativamente em sistemas de preparo que promovem menor revolvimento do solo e, conseqüentemente deixam mais resíduos sobre a superfície do que os convencionais. A maior capacidade de armazenamento de água do sistema e a maior macroporosidade (abaixo dos 5 cm de profundidade) previnem e formam

um poder tampão a pequenos veranicos e à compactação provocada por trabalho e tráfego de máquinas (Griffith et al., 1992; Hargrove, 1997).

Para Adeyode (1982) a distribuição de raízes na profundidade do perfil foi influenciada pela profundidade de aração. No sistema de semeadura direta, onde a mobilização do solo na linha de semeadura se deu a 5 cm, 61% do comprimento radicular se concentrou nos 15 cm superficiais. No sistema de preparo convencional, com aração profunda (30 cm), foi encontrado apenas 45% do comprimento total de raízes nesta mesma profundidade. Porém, no preparo convencional, com aração profunda, o comprimento total de raízes na camada de 30 a 40 cm superou em 9% o tratamento com aração superficial.

Voorhess et al. (1975) verificaram uma relação entre o engrossamento da raiz e as condições de resistência do solo e atribuíram a esta relação as alterações entre as raízes laterais de primeira ordem e a raiz principal (a relação com o comprimento diminuiu). Também encontraram um maior retorcimento ou deformação das raízes com o aumento da resistência do solo.

2.7 Desempenho econômico e energético de sistemas de produção agrícolas

As produtividades obtidas na agricultura moderna têm sido possíveis, em grande parte, pela crescente utilização de grandes doses de insumos (Hetz & Melo, 1997) máquinas e equipamentos modernos e aos avanços na melhoria das espécies, pelo avanço da engenharia genética.

A mecanização motorizada da agricultura tem permitido, principalmente, aumentar a capacidade de trabalho e a produção, executar as operações com maior oportunidade e qualidade, reduzindo e dignificando o esforço físico do homem (Hetz & Barros, 1997) e, ainda, liberando um grande contingente de trabalhadores para outros setores da economia (Teixeira & Balastreire, 1997).

Segundo a World Commission on Environment and Development (WCED – 1987), desenvolvimento sustentável é definido como aquele que consegue satisfazer as necessidades da sociedade atual sem comprometer a habilidade das gerações futuras em satisfazer suas próprias necessidades.

O incremento da produção de alimentos durante as décadas recentes é baseado em pesquisa e desenvolvimento tecnológico. Entretanto, a ação

predominante nesse sentido, é a utilização de grande quantidade de energia, direta ou indiretamente, na forma de óleo, eletricidade e fertilizantes (Schroll, 1994). Este uso intensivo de energia tem criado dois problemas relacionados a sustentabilidade da agricultura. Primeiro, a energia fóssil, de fonte limitada, tende se exaurir, com o passar do tempo. O outro, é que sérios problemas ambientais estão relacionados ao impacto causado pelo uso desta energia, como a acidificação, aumento dos níveis de CO₂, eutrofização das águas e poluição (Schroll, 1994).

Nguyen & Haynes (1995) ressaltam que o desenvolvimento e uso de sistemas agrícolas sustentáveis são, atualmente, uma das grandes preocupações mundiais. No que concerne a sustentabilidade, há preocupações quanto ao uso eficiente de insumos agrícolas não renováveis (tais como fertilizantes sintéticos e pesticidas) e quanto à energia de origem fóssil utilizada em sua fabricação e aplicação.

Hall & Hall (1993) demonstram ser consenso entre vários escritores de que a comunidade mundial necessita reduzir o consumo de energia de origem fóssil (óleo, gasolina, gás natural) de forma a alcançar a “sustentabilidade” e cessar a deterioração do ambiente global.

A energia fóssil é utilizada de muitas formas como a fabricação e funcionamento de sistemas de irrigação e tratores, porém maior parte é usada para manufatura e distribuição de fertilizantes, especialmente os nitrogenados (Hall & Hall, 1993).

Hetz & Melo (1997) assinalam que os custos energéticos parciais mais altos correspondem à fertilização e irrigação, que juntas somam 88% do total. O nitrogênio constituiu o fertilizante de maior custo energético, representando 28% do total gasto.

Enquanto o fósforo (P) e o potássio (K) são extraídos de rochas e seus custos energéticos são devido aos custos de extração, transformação, transporte e distribuição, o nitrogênio (N) é extraído principalmente do ar e o processo de transformá-lo em fertilizante, requer muita energia. Dessa forma, o custo do N está intimamente ligado aos custos da fonte de energia, especialmente óleo e eletricidade (Schroll, 1994).

A análise energética de ecossistemas agrícolas tem sido vista como uma ferramenta útil na investigação e localização de problemas ambientais, bem como suas relações com a sustentabilidade (Giampietro et al. 1992).

Os fluxos de energia são um importante componente dos ecossistemas agrícolas e muitos problemas ambientais sérios são relacionados à utilização da energia fóssil (Schroll, 1994).

Os custos diferenciais de lavouras conduzidas com preparo conservacionistas e convencionais envolvem praticamente máquinas e herbicidas, já que os outros fatores de produção são os mesmos nos dois sistemas (Stonehouse, 1991; Siemens & Doster, 1992). As despesas com as operações de preparo do solo podem representar 10 a 30% do custo total de produção, dependendo do método empregado, da cultura, e do local estudado (Corsini, 1991).

Comparando o consumo de energia entre preparo convencional e conservacionista do solo, Burt et al. (1994) concluíram que o sistema de preparo do solo influi significativamente na quantidade de energia necessária para implantar uma determinada cultura. Concluíram, ainda, que sistemas conservacionistas de preparo do solo possibilitam economia de até 50% da energia utilizada por unidade de área, em relação ao preparo convencional. O mesmo referencial foi obtido por Levien (1999).

3. MATERIAL E METODOS

3.1 Localização da área experimental

O experimento foi instalado e conduzido na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, localizada no município de Eldorado do Sul/RS, região fisiográfica da Depressão Central. O solo possui textura superficial arenosa e origem granítica (Brasil, 1973), atualmente encontra-se classificado como Argissolo Vermelho Distrófico típico – PVd, unidade de mapeamento São Jerônimo. A região possui precipitação média anual de 1440 mm e o clima, segundo classificação de Köeppen, subtropical de verão úmido quente – Cfa (Bergamaschi & Guadagnin, 1990).

3.2 Características da área experimental

Quando da instalação do presente experimento, a área encontrava-se sem uso agrícola ou experimental por mais de dez anos, sendo a vegetação, predominante de gramíneas cespitosas de baixo porte e de caraguatás, podendo, assim, ser considerada uma área de campo natural degradado.

Antes de ser utilizada como piquete para bovinos, esta área foi utilizada para programas de melhoramento de cultivares pela FEPAGRO e, para isso, foi intensivamente preparada, com o uso de aração, gradagem e enxada rotativa, resultando excessiva pulverização do solo.

Após o término das pesquisas de melhoramento, no local houve o restabelecimento de espécies nativas, gramíneas e leguminosas típicas de campo natural e a área passou a ser utilizada para o pastejo de gado.

Depois de sofrer uma divisão em três partes, duas das quais utilizadas para experimentos (uma a partir de 1982 e a outra desde 1986), a área restante, de aproximadamente 1,5 hectare, continuou sendo usada como

piquete transitório de gado, recebendo lotações elevadas, mesmo em dias impróprios (chuvosos ou úmidos), resultando em nova composição botânica da área.

Após a demarcação da área experimental foi realizada a correção do solo com $2,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ de calcário dolomítico (PRNT 60%). A aplicação do corretivo foi realizada em superfície, sem incorporação ao solo e correspondeu à metade da dose recomendada quando ocorre incorporação por aração e gradagens. Utilizou-se um distribuidor gravitacional de arrasto (distribuidor tipo cocho) da marca Implemaq.

Após a correção do solo, a vegetação presente na área experimental foi dessecada quimicamente com utilização de herbicida à base de Glyphosate, na dose de 4 litros do produto comercial + 180 litros de água, por hectare. Essa operação foi efetuada com pulverizador de barras, marca Jacto, modelo 401, montado, com barras de aplicação de 9,5 m, com bicos com ponta tipo leque (110-02), espaçados entre si de 0,50 m.

3.3 Culturas de cobertura de inverno

Para anteceder as culturas teste (milho e soja), foram escolhidas, como culturas de inverno, a aveia preta (*Avena strigosa* S.) - (A), por ser uma gramínea anual, rústica, com grande capacidade de perfilhamento, tolerante à seca e pouco exigente em fertilidade. Tem desenvolvimento inicial rápido e, devido ao seu sistema radicular bastante desenvolvido, é muito eficiente na reciclagem de nutrientes, podendo alcançar uma produção de massa verde entre 30 e 60 Mg ha^{-1} e entre 2 e 6 Mg ha^{-1} de matéria seca (Derpsch & Calegari, 1992).

Também foi usada a mistura desta com a ervilhaca (*Vicia sativa* L.) (A+E), por ser uma leguminosa de bom desenvolvimento em mistura com a aveia e, ainda boa incorporadora de nitrogênio ao solo, alcançando até 150 kg ha^{-1} (EMATER/RS, 2001). Desta forma, o uso da mistura aveia+ervilhaca propiciou uma boa e duradoura cobertura do solo (propiciada pelos resíduos da aveia) com ganhos de produtividade da cultura posterior propiciado pela incorporação de N ao solo e mais rápida decomposição da ervilhaca.

A aveia e a mistura aveia+ervilhaca foram semeadas com espaçamento entre linhas de 17 cm, profundidade média de 2,0 cm e densidade de sementes de 90 kg ha⁻¹ e 60 e 30 kg ha⁻¹, respectivamente.

Além destas, no primeiro ano, foram mantidas parcelas em campo natural (CN) onde foram realizadas a calagem, dessecação e adubação, mas sem cultura implantada no inverno. No segundo ano, permaneceram em pousio (P) no período de outono-inverno.

No período de primavera-verão, a opção foi pela semeadura de milho e soja diretamente sobre campo natural. Isso se deu em função da necessidade de informações sobre o desempenho destas culturas como pioneiras em solos degradados, no caso fisicamente, gerando conhecimentos para a adoção da técnica de semeadura direta, de forma mais barata e menos trabalhosa.

O manejo da massa verde das plantas de cobertura foi realizado depois de a aveia atingir o ponto de grão leitoso e, a ervilhaca, a terceira floração, com a aplicação de herbicida (Glyphosate), conforme os tratamentos descritos adiante.

3.4 Culturas de verão

Apesar de serem culturas amplamente cultivadas no Estado do Rio Grande do Sul, o milho (M) e a soja (S) ainda são muito carentes em pesquisas sobre a sua implantação em sistema de semeadura direta, principalmente em campo natural.

A cultura do milho foi escolhida por sua boa tolerância a níveis baixos e médios de pH e fertilidade do solo, sendo uma alternativa como cultura desbravadora na instalação de culturas econômicas sobre campo natural, e ainda, a sua representatividade na produção de cereais no Rio Grande do Sul.

A semeadura da cultura do milho foi realizada de modo a se obter uma densidade próxima de 66 mil plantas por hectare, com espaçamento de 0,80 m entre linhas (5 a 6 sementes por metro). A velocidade de operação empregada com o conjunto trator/semeadora-adubadora variou de 5,2 a 5,5 km h⁻¹.

A escolha pela cultura da soja deveu-se ao fato da mesma ser mais tolerante à deficiência hídrica do que o milho, fato este muito comum na região onde se situa a área experimental. Na semeadura da soja buscou-se a

densidade de plantas de 350 mil plantas por hectare (14 plantas por metro linear), cultivar BRS-154 recomendada para região geográfica do experimento segundo recomendações para a cultura no Rio Grande do Sul, com espaçamento de 0,40 m entre linhas. As sementes de soja foram inoculadas com o *Rhizobium* específico. A velocidade de operação foi a mesma da empregada na semeadura do milho (5,2 a 5,5 km h⁻¹).

Para as culturas do milho e da soja, a adubação e tratos culturais seguiram as recomendações da pesquisa para a cultura na região e serão descritos mais detalhadamente posteriormente.

3.5 Tratamentos

Os tratamentos foram definidos através da cultura utilizada nas parcelas no inverno, sobre as quais efetuou-se a semeadura das culturas de verão e da profundidade de atuação do sulcador do adubo.

Para um melhor entendimento, os tratamentos assim divididos:

a) Quanto à cultura de verão:

- Milho: semeado sobre os tratamentos de inverno, conforme descrito a seguir;
- Soja: semeada sobre os mesmos tratamentos utilizados para o milho.

b) Quanto às culturas de cobertura de inverno:

- Campo natural com aveia dessecada (A): onde se introduziu aveia preta sobre campo natural, corrigido e adubado no inverno;
- Campo natural com aveia+ervilhaca dessecada (A+E): onde se introduziu aveia preta sobre campo natural, corrigido e adubado no inverno;
- Campo natural (CN): esse tratamento, então sob campo natural, foi dessecado, corrigido e adubado no inverno de 2002. No segundo ano, esse tratamento passou a ser denominado de Pousio (P).

A partir do esquema de implantação realizado no primeiro cultivo de verão, foram definidos os tratamentos para o segundo ano, onde, nos mesmos tratamentos de inverno, foi realizada a inversão das culturas utilizadas no verão. Isso significa dizer que sobre a mesma condição de cobertura no inverno, a soja passou a ocupar as parcelas onde havia milho no ano anterior e vice-versa.

c) Quanto à profundidade de atuação do sulcador de adubo:

Na semeadura das culturas de verão se buscou atingir duas profundidades de deposição do fertilizante no sulco de semeadura, em:

- Raso: regulagem da haste sulcadora para atingir uma profundidade de atuação de 6 cm;
- Profundo: regulagem da haste sulcadora para atingir uma profundidade de atuação de 12 cm.

A semeadura do milho e da soja foi realizada buscando a colocação das sementes a 5,0 cm de profundidade.

3.6 Equipamentos de campo

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

a) Trator marca John Deere, modelo 5600, com tração dianteira auxiliar (TDA), potência máxima no motor de 53 kW (75 cv), massa em ordem de marcha 3520 kg, lastro de 200 kg no eixo dianteiro e 115 kg em cada roda traseira, pneus traseiros R1 18.4-30, pneus dianteiros R1 12.4-24, com pressão de inflação de 95 e 110 kPa respectivamente, bitola de 1,65 m no eixo dianteiro e traseiro.

b) Pulverizador tratorizado, montado, de barras, marca Jacto, modelo 401, tanque com capacidade para 400 litros de calda e barras providas de 19 bicos tipo jato em leque 110-02, espaçados em 500 mm, pressão de trabalho de 275 kPa (40 psi), largura útil de 9,5 m.

c) Pulverizador costal, marca Jacto, modelo PJH, acionamento manual, tanque com capacidade para 20 litros de calda, equipado com bico tipo jato em leque 110-03.

d) Distribuidor de calcário em linhas, marca Implemaq, de arrasto, com 24 orifícios de saída reguláveis, capacidade para 1500 kg, largura de trabalho de 3,5 m, dotado de dois pneus 7.00-16 para transporte e acionamento do mecanismo agitador interno.

e) Semeadora-adubadora montada, marca Vence Tudo, modelo 11500. Para semeadura de cereais (aveia preta e aveia preta+ervilhaca), a semeadora-adubadora foi equipada com 11 linhas espaçadas de 170 mm, sulcadores para

adubo e semente tipo discos duplos com 330 mm (13”), correntes para cobrir o sulco em cada linha de semeadura, rodas para acionamento dos dosadores de adubo e sementes com 1200 mm de diâmetro dotadas de pneus R1 5.00/16-12 com pressão de inflação de 18 lbs.pol⁻², dosadores de adubo e de sementes tipo rotor dentado horizontal e rotor acanalado, respectivamente, condutores de adubos e sementes de borracha corrugada e flexíveis, capacidade de depósito de adubo e de semente de 162 kg (202 L) e de 136 kg (182 L) respectivamente e massa de 810 kg.

Para semeadura da cultura do milho, a semeadora foi modificada para três linhas, espaçadas de 0,80 m entre si e, para semeadura de soja, ajustada para 5 linhas espaçadas de 0,40 m entre si.

As linhas, para as culturas de verão, constaram com disco de corte de palha liso de 356 mm (14”) de diâmetro colocados à frente de cada linha de semeadura, sulcadores de adubo do tipo facão com ponteiros de 2,5 cm de largura, sulcadores para semente tipo discos duplos com 330 mm (13”), rodas compactadoras dispostas em “V” com 305 mm (12”) de diâmetro, rodas para acionamento dos dosadores de adubo e sementes com 1200 mm de diâmetro com pneus R1 5.00/6-12, dosadores de adubo e de sementes tipo rotor transportador dentado horizontal, com regulagem milimétrica auto-limpante acionado por rosca sem fim e discos horizontais perfurados, respectivamente, condutores de adubos e sementes de borracha corrugada e flexíveis, capacidade de depósito de adubo e de semente de 162 kg (202 L) e de 136 kg (182 L) respectivamente e massa de 1110 kg.

f) Trilhadora estacionária, marca Lindner, cilindro e côncavo de dentes, acionada por motor à gasolina com 12 cv de potência.

g) Colhedora Autopropelida de grãos, marca SLC-John Deere, modelo 1165, dotada de plataforma específica para colheita do milho e da soja, com 14 pés (4,62 m) de largura, com picador de palhas, pneus dianteiros 18.4-30 e traseiros 10.5/80-18, massa de 7200 kg, sendo 2250 kg no eixo traseiro e 4950 kg no eixo dianteiro, bitola de 2,34 m no eixo dianteiro e de 2,18 m no eixo traseiro.

3.7 Insumos agrícolas

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

- a) Corretivo: calcário dolomítico, PRNT de 60%, PN de 75%, aplicado em superfície antes da instalação do experimento.
- b) Sementes das culturas de inverno: aveia preta (*Avena strigosa* S.) e ervilhaca comum (*Vicia sativa* L.) respectivamente.
- c) Sementes da cultura de verão: soja (*Glycine max* L.), e milho (*Zea mays*).
- c) Fertilizantes: de acordo com os resultados de análise de solo e as recomendações de adubação e calagem para as culturas envolvidas no experimento. Utilizando-se para tal adubo formulado (5-20-20), aplicado na semeadura das culturas hibernais e estivais. Para adubação de cobertura, feita para as culturas da aveia e do consórcio aveia+ervilhaca, no inverno e do milho, no verão, foi utilizada uréia, aplicada a lanço nas parcelas experimentais.
- d) Agrotóxicos: 4,0 L ha⁻¹ do herbicida Glyphosate, 480 g L⁻¹, empregado para dessecação do campo natural antes da semeadura da aveia e 3,0 L ha⁻¹ do herbicida Glyphosate, 480 g L⁻¹, utilizado para manejo químico (dessecação) das culturas de inverno e campo natural presente antes da semeadura do milho e da soja. Além disso, foram aplicados herbicidas pós emergentes seletivos para o milho e para a soja e inseticidas, em momentos de necessidade de controle durante o desenvolvimento das mesmas.

3.8 Equipamentos de laboratório e coleta de amostras

Para a obtenção dos resultados, foram utilizados os seguintes materiais de laboratório e de coleta de dados.

- a) Trado calador de 4,2 cm de diâmetro, baldes numerados, sacos plásticos, atilhos e caneta de retroprojeter, na coleta de amostras para determinação da fertilidade química do solo.

- b) Canetas para amostragem e identificação de amostras de fertilidade, teor de água e densidade do solo; massa seca de raízes e, ainda, área, volume e perfil de solo mobilizado.
- c) Latas de alumínio numeradas e com tampa, faca, espátula, colher de pedreiro, enxadão, pá de corte, fita crepe, balança eletrônica com precisão de 0,01 g e estufa elétrica para a determinação do teor de água no solo.
- d) Anéis com 84 mm de diâmetro e 50 mm de altura, régua graduada de 30 cm, latas numeradas de alumínio com tampa e com 80 mm de diâmetro e 60 mm de altura, martelo especial para introdução dos anéis no solo, faca, espátula, colher de pedreiro, enxadão, pá de corte, fita crepe, balança eletrônica com precisão de 0,01 g e estufa elétrica; para obtenção da densidade aparente do solo;
- e) Anéis com 64 mm de diâmetro e 25 mm de altura, régua graduada de 30 cm, martelo especial para introdução dos anéis no solo, faca, espátula, colher de pedreiro, enxadão, pá de corte, papel alumínio, fita crepe, bacia para saturar amostras, água destilada, funil para coluna d'água (60 cm de coluna), estufa elétrica 105 °C e balança eletrônica com precisão de 0,01 g, material empregado para determinação da densidade e porosidade do solo.
- f) Retângulo de madeira com área interna de 0,24 m², tesouras, facas, sacos de papel, balança eletrônica com precisão de 0,01 g e estufa elétrica, empregados para determinar a massa seca de resíduos
- g) Corda de nylon graduada, com 10 m de comprimento, marcada a cada 10 cm e com duas estacas de ferro presas às extremidades, segundo a metodologia descrita por Hartwig & Laften (1978), para determinação da porcentagem de cobertura do solo.
- h) Trilhadora estacionária, foice, lonas plásticas, sacos de ráfia, determinador de umidade de grãos, balança mecânica com precisão de 10 g, estufa elétrica e latas de alumínio numeradas, para a determinação da produtividade de grãos das culturas.
- i) Trado calador de 4,2 cm de diâmetro, faca, pratos de papel, balança eletrônica sacos plásticos, com precisão de 0,01 g e estufa elétrica, para determinação da massa seca de raízes.

j) Perfilômetro, folhas de ofício e faca, para determinação do perfil do solo mobilizado e obtenção da área transversal mobilizada e volume de solo mobilizado.

k) Sensores (tipo strain gages) montados no suporte que prende a haste sulcadora de adubo ao chassi da semeadora e conjunto de aquisição de dados (computador e programas específicos), para a determinação do esforço exigido pela haste na abertura do sulco na linha de semeadura.

3.9 Avaliações e Amostragens

A área experimental foi caracterizada através de amostragens para avaliações químicas e físicas do solo, antes da implantação da cultura de inverno (aveia preta e aveia preta+ervilhaca), quando ainda ocupada com campo natural.

3.9.1 Antes da semeadura das culturas de inverno

a) Análise química do solo: foram coletadas amostras de solo de 0 a 5 cm e de 5 a 10 cm de profundidade, atentando para a variabilidade espacial, antes da instalação do experimento, com objetivo de caracterizar a área experimental e definir as doses da adubação utilizada para as culturas.

b) Massa de resíduo de campo natural: amostragem feita de modo aleatório através de três sub-amostras, realizadas com auxílio de um quadro de 0,40 x 0,60 m (0,24 m²). O material coletado foi encaminhado para a estufa, onde permaneceu durante 48h a uma temperatura de 60° C. Ao final deste período, o material foi pesado e, por meio de cálculos, estimada a massa seca de plantas do campo natural.

c) Densidade do solo: foi utilizado o método do anel volumétrico, descrito em EMBRAPA (1997). Os resultados foram expressos em Mg m⁻³.

d) Teor de água do solo: obtido através da umidade gravimétrica e volumétrica do solo, a partir das mesmas amostras retiradas para determinação da densidade do solo, segundo metodologia descrita em EMBRAPA (1997). Os resultados de umidade gravimétrica e volumétrica foram expressos em kg kg⁻¹ e m³ m⁻³, respectivamente.

e) Porosidade total, macroporosidade e microporosidade do solo: a porosidade total foi determinada de forma indireta, subtraindo-se da unidade, a resultante da relação entre os valores de densidade de sólidos (partículas) e da densidade do solo e. A microporosidade foi obtida pelo método descrito em EMBRAPA (1997). A macroporosidade determinada pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade.

3.9.2 Antes da semeadura das culturas de verão

a) Avaliação de quantidade de massa de resíduo de aveia e aveia+ervilhaca e de pastagem nativa sobre o solo: a amostragem, feita de modo aleatório através de três sub-amostras por parcela, realizada com auxílio de um quadro de 0,24 m², cortando-se a parte aérea das plantas de aveia preta e da mistura da aveia+ervilhaca, no final do ciclo da cultura.

b) Massa seca de raízes das culturas de inverno (A; A+E; CN) na área de solo mobilizada e na área sem mobilização pelo sulcador da semeadora-adubadora: as amostragens foram realizadas antes da semeadura das culturas de verão, com uso de um trado calador de 4,2 cm de diâmetro em duas profundidades 0 - 10 e 10 - 20 cm. A massa de raízes obtida no volume de solo correspondente ($V = \pi \cdot r^2 \cdot h$; onde, r é o raio do cilindro e h , a profundidade de amostragem), foi convertida para massa de raízes por unidade de área (Mg ha⁻¹), nas profundidades de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm.

c) Massa seca das culturas de inverno na época de colheita: amostras de 0,24 m², coletadas dentro das parcelas para avaliação da quantidade de massa seca de resíduos contida em cada tratamento.

3.9.3 Durante a semeadura das culturas de verão

a) Velocidade de deslocamento do conjunto trator-semeadora: cronometrou-se o tempo que o conjunto demorou a percorrer uma determinada distância (velocidade = distância / tempo).

b) Patinação das rodas tratórias: através do método descrito por Linares (1996).

c) Esforço de tração na haste sulcadora de adubo: através de sensores colados à haste sulcadora de adubo, com método descrito em Cepik (2000)

3.9.4 Após a semeadura das culturas de verão

a) Volume de solo mobilizado e forma geométrica do sulco deixado pelo sulcador: utilizando um perfilômetro, determinou-se o perfil do solo antes da passagem do conjunto trator/semeadora-adubadora. Após a passagem do conjunto trator/semeadora-adubadora foram realizadas mais duas determinações: com solo mobilizado (perfil superior) e com solo retirado do interior da falha (perfil inferior).

b) Plantas invasoras: avaliação da porcentagem de cobertura por invasoras nos diferentes tratamentos, após a colheita das culturas do milho e da soja.

c) Produtividade de grãos e de resíduos: avaliada através da colheita de duas linhas inteiras de milho e soja, em cada parcela. O material colhido foi trilhado na trilhadora estacionária e, os grãos e a palha, pesados separadamente.

3.9.5 Delineamento experimental e análise estatística dos dados

A conversão do campo natural em área de agricultura através da semeadura direta foi analisada separadamente para as culturas do milho e da soja, em função de suas diferentes características de arquitetura (lavoura e planta), em experimento de campo.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos inteiramente casualizados, com parcelas subdivididas e 4 repetições. As parcelas principais (condições de cobertura do solo no inverno) tinham as dimensões de 20,0 m de comprimento por 5,5 m de largura. As subparcelas (profundidade de atuação do sulcador de adubo) possuíam a metade da largura anterior. Os dados obtidos a campo ou em laboratório, após, tabulados e submetidos à análise de variância foram comparados pelo teste de comparação das médias de Duncan. Quando houve interação, foi efetuada nova análise de variância, considerando cada fator isoladamente.

3.9.6 Estimativa do balanço energético

Para possibilitar a avaliação energética, foram quantificadas e qualificadas todas as operações realizadas, bem como considerados todos os insumos e sementes utilizadas em cada um dos sistemas avaliados, denominando-se estes de entrada energética.

Para constituir o balanço, considerou-se a extração (grãos) de cada tratamento como saída energética. Ainda, de modo a estimar a maior ou menor expectativa de sustentabilidade, foi considerada a palha que permaneceu na superfície do solo como saída.

O cálculo da energia necessária para execução de cada uma das operações foi realizado através das informações obtidas durante a execução do trabalho de pesquisa a campo, sendo que para as máquinas e equipamentos, os custos energéticos foram calculados com inclusão de fabricação, transporte e reparos, segundo a metodologia proposta por Bridges & Smith (1979). Foi considerado como período de vida útil, 12.000 h para o trator, 3.000 horas para semeadora e 2.300 horas para o pulverizador de barras tratorizado (Balastreire, 1987).

O consumo de combustível na operação de semeadura foi estimado com base nas médias de consumo por operação feitas durante o acompanhamento do trator utilizado, em suas atividades no programa PRONEX-CNPq, sendo este de cerca de $5,5 \text{ L.h}^{-1}$ ou aproximadamente 11 L.ha^{-1} . Para o combustível (óleo Diesel) adotou-se o poder calorífico de $9.210 \text{ kcal L}^{-1}$, para o trator e a colhedora $16.690 \text{ kcal kg}^{-1}$ e para os demais equipamentos, $13.760 \text{ kcal kg}^{-1}$.

A energia considerada para os fertilizantes formulados foi de $15.247 \text{ kcal kg}^{-1}$ para o N, $3.340 \text{ kcal kg}^{-1}$ para o P_2O_5 , $2.340 \text{ kcal kg}^{-1}$ para o K_2O (Ulbanere, 1988) e de $16.507 \text{ kcal kg}^{-1}$ para o N em forma de uréia (Hetz & Barrios, 1997).

Para os agrotóxicos foram utilizados os seguintes valores energéticos; 108,20; 254,57 e 184,71 MJ L^{-1} , respectivamente para Glifosate, demais herbicidas e inseticidas empregados (Hetz & Barrios, 1997).

Para as sementes e grãos de aveia preta, ervilhaca, milho e soja foram empregados os valores de energia de 4.440; 4.488; 3.690 e 4.019 kcal kg^{-1} , respectivamente.

A saída de energia dos sistemas foi representada pela produção de massa seca da parte aérea das culturas de cobertura de inverno (aveia e aveia+ervilhaca), somada à produção de massa seca da parte aérea e de grãos das culturas de verão (soja e milho). Também foram calculados o ganho líquido de energia e a relação entrada/saída de energia necessária para produção de massa seca e/ou de grãos de cada uma das culturas avaliadas, segundo metodologia citada em Siqueira (1999).

3.9.7 Estimativa do balanço econômico

A avaliação econômica dos diferentes tratamentos foi realizada pela adaptação da estimativa dos custos da FECOAGRO – RS. Foram tomados como base, os custos referentes ao mês de abril/2004, relacionando-se somente os efetivamente realizados no experimento. O balanço econômico nos dois anos agrícolas estudados foi calculado pela entrada de recursos proveniente da venda dos grãos das culturas de verão (milho e soja), também com base dos preços em abril/2004, descontando-se os custos de implantação e condução das culturas de cobertura de inverno e das próprias culturas geradoras de renda nos sistemas (milho e soja).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Descrição química e física do solo

Na Tabela 1, constam os resultados do laudo de análise química do solo da área experimental antes da instalação do experimento, em junho de 2002.

Tabela 1. Caracterização química do solo antes da instalação do experimento, maio/junho de 2002.

| Prof. | Argila | pH | ISMP | P | K | M.O | Al _{troc.} | Ca _{troc.} | Mg _{troc.} |
|-------|--------|------------------|------|--------------------|-----|-----|---------------------|-----------------------------------|---------------------|
| (cm) | % | H ₂ O | | mg L ⁻¹ | | % | | cmol _c L ⁻¹ | |
| 0-6 | 35 | 5,6 | 6,0 | 3,5 | 201 | 3,0 | 0 | 3,6 | 1,7 |
| 6-12 | 40 | 5,7 | 6,1 | 2,0 | 145 | 2,2 | 0 | 3,7 | 1,7 |
| Média | 38 | 5,6 | 6,1 | 2,8 | 173 | 2,6 | 0 | 3,7 | 1,7 |

Pela interpretação da Tabela 1 (com o auxílio do Manual da ROLAS, 1999) o solo se enquadra na classe textural 3, em função do seu teor de argila.

As análises do pH em água, do Índice SMP e o Alumínio trocável demonstram que não há, nesta área, necessidade de calagem, a não ser a de reposição, o que demonstra tratar-se de uma área diferenciada, quando comparada a outras, de campo natural, normalmente bastante ácido.

O local do experimento é deficiente em fósforo (P), estando seus teores na faixa “muito baixo”, para esta classe textural de solo. O potássio (K) está com valor alto, exigindo apenas a adubação de manutenção.

A matéria orgânica (M.O.) do solo, que serve de base à adubação nitrogenada, encontra-se em valores considerados médios, assim como o cálcio (Ca) e o magnésio (Mg).

Os dados demonstram que o solo da área está com um bom nível de fertilidade, sendo que apenas para o P exigiu maior atenção para correção.

A adubação potássica e a calagem foram realizadas apenas para manutenção e os teores de M.O. indicaram a necessidade de adubação nitrogenada para suprimento das culturas de aveia, aveia+ervilhaca e milho.

Os valores que caracterizam a situação do solo, no local do experimento, fisicamente estão na Tabela 2.

Tabela 2. Caracterização física do solo, antes da instalação do experimento (julho de 2002).

| Característica analisada | Profundidade (cm) | | |
|---|-------------------|--------|--------|
| | 0 – 6 | 6 – 12 | 0 – 12 |
| Massa de raízes no solo (Mg ha^{-1}) | 8,1 | 4,9 | 13,0 |
| Densidade do solo (g cm^{-3}) | 1,70 | 1,72 | 1,71 |
| Densidade dos sólidos (g cm^{-3}) | - | - | 2,49 |
| Resistência do solo à penetração (kPa) | - | - | 1928 |
| Macroporosidade ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) | 0,07 | 0,05 | 0,06 |
| Microporosidade ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) | 0,29 | 0,29 | 0,29 |
| Porosidade total ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) | 0,36 | 0,35 | 0,35 |
| Limite de liquidez (kg kg^{-1}) | - | - | 0,23 |
| Limite de plasticidade (kg kg^{-1}) | - | - | 0,14 |
| Limite de contração (kg kg^{-1}) | - | - | 0,08 |
| Índice de Plasticidade (kg kg^{-1}) | - | - | 0,09 |
| Areia (g kg^{-1}) | 511,4 | 489,2 | - |
| Silte (g kg^{-1}) | 163,0 | 179,1 | - |
| Argila (g kg^{-1}) | 325,6 | 331,7 | - |

A densidade do solo (Tabela 2) pode ser considerada elevada podendo comprometer o desenvolvimento radicular das culturas e a absorção de nutrientes. Bondarev (1991) cita que, para solos com textura de franca à arenosa, densidades acima de 1,6 podem ser associadas à compactação “forte” do solo. Ainda, Reinert & Reichert (1999) sugerem, para solos com teores de argila entre 20 e 55%, o valor crítico de densidade de $1,55 \text{ Mg m}^{-3}$.

Na Tabela 3, encontram-se os dados de densidade e porosidade da área experimental, nos diferentes tratamentos, antes da semeadura da cultura de verão.

Pela observação das Tabelas 2 e 3, percebe-se uma diminuição nos valores de densidade em todos os tratamentos sobre os quais foi efetuada a calagem do solo.

Tabela 3. Valores de densidade e porosidade, em duas profundidades do solo, após o cultivo de inverno e antes da semeadura do milho e da soja (em novembro de 2002).

| Tratamentos | Densidade ¹ g cm ⁻³ | Porosidade total ² ----- cm ³ cm ⁻³ ----- | Microporos ³ cm ³ cm ⁻³ | Macropos ⁴ |
|-----------------------|--|--|---|-----------------------|
| ----- 0 a 6 cm ----- | | | | |
| A+E | 1,62 b | 0,39 a | 0,33 a | 0,06 a |
| A | 1,61 b | 0,39 a | 0,34 a | 0,06 a |
| CN | 1,62 b | 0,39 a | 0,33 a | 0,07 a |
| ----- 6 a 12 cm ----- | | | | |
| A+E | 1,68 a | 0,36 a | 0,31 a | 0,06 a |
| A | 1,69 a | 0,36 a | 0,31 a | 0,06 a |
| CN | 1,68 a | 0,36 a | 0,30 a | 0,06 a |

*Letras minúsculas nas colunas representam diferença estatística entre os tratamentos pelo teste de Duncan $P < 0,05$. ¹CV = 0,12; ²CV = 0,10; ³CV = 11,5; ⁴CV = 11,4.

**A+E = aveia + ervilhaca; A = aveia; CN = campo natural

A mesma observação é válida para os valores de porosidade total e microporosidade aumentados em todos os tratamentos (Tabelas 2 e 3).

Em uma lista de atividades melhoradoras das características físicas de solos com compactação subsuperficial, Bondarev (1989) cita a aplicação de produtos a base de Cálcio (calcário, gesso, etc). Em muitos casos o cálcio é utilizado como tratamento melhorativo das características físicas nos horizontes superficiais e subsuperficiais do solo (Bondarev, 1989).

Ainda assim, se considerada a relação ideal entre microporos e porosidade total do solo para um desenvolvimento satisfatório das plantas, igual a 0,67, proposta por Kiehl (1979), todos os tratamentos apresentam a relação superior a 0,80, indicando adensamento excessivo do solo e conseqüente degradação da estrutura física, provavelmente resultado do

manejo dado à área, com intenso pisoteio por animais bovinos, anteriormente a instalação deste experimento. Observação semelhante foi feita por Bertol et al. (1998), que salientaram os efeitos negativos deste manejo sobre o solo, especialmente no que se refere à taxa de infiltração de água no solo.

A macroporosidade (Tabelas 2 e 3) é outro indicativo da degradação física apresentada pelo solo no local do experimento. Carter (2002) cita como crítico e limitante a macroporosidade de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$.

O valor de macroporosidade (Tabela 3), permaneceu próximo ao original em todos os tratamentos, não havendo, portanto, modificações no solo quanto a este parâmetro (Tabela 2), em função dos tratamentos testados.

4.2 SAFRA 2002/2003

4.2.1 Condições de chuva e Evapotranspiração

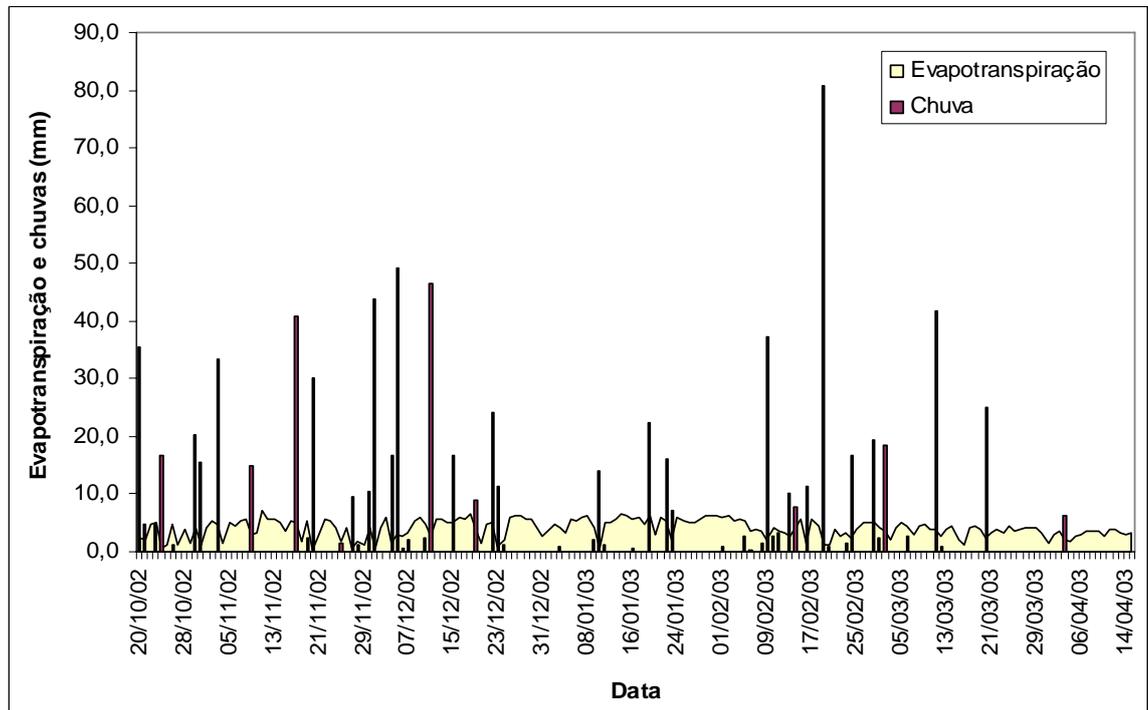


Figura 1. Evapotranspiração e chuvas (mm) no período de outubro de 2002 a abril de 2003.

Na Figura 1 são apresentadas as condições de chuvas e evapotranspiração durante o cultivo do milho e da soja na safra 2002/03.

Pela observação da Figura 1 percebe-se que embora houvessem chuvas com volumes elevados, a distribuição destas não foi uniforme no decorrer do período, ocasionando períodos de deficiência hídrica. Caso esse período coincida com fases de desenvolvimento da cultura suscetíveis ao déficit, pode ocorrer falha na polinização e enchimento de grãos, com conseqüente queda da produtividade das culturas.

Na Tabela 4 estão identificados os diferentes estádios de desenvolvimento das culturas de milho e soja com o respectivo período, em dias após a semeadura, de cada um dos estádios.

Tabela 4. Dias após a semeadura (DAS) dos principais estádios das culturas do milho e da soja, safra 2002/2003.

| Estádio | milho | soja |
|---------|---------------------|------|
| | Dias Após Semeadura | |
| VE* | 4 | 5 |
| VC | - | 12 |
| V3 | 14 | 37 |
| V7 | 30 | 52 |
| V10 | 40 | - |
| V15 | 50 | - |
| VT | 65 | - |
| R1 | 70 | 57 |
| R2 | 78 | 66 |
| R3 | 85 | 76 |
| R4 | - | 91 |
| R5 | 106 | 106 |
| R6 | 125 | 121 |
| R7 | - | 133 |
| R8 | - | 139 |

* A semeadura do milho foi realizada em 27/11/2002 e a da soja 04/12/2002.

- Estádios não identificados ou não existentes para cultura.

A observação conjunta da Figura 1 e da Tabela 4 permite perceber que o milho sofreu déficit hídrico entre os estádios V7 e V10 que, segundo Magalhães & Durães (2000), compreendem fases de acumulação de nutrientes e o desenvolvimento do sistema floral, que definirão sua capacidade produtiva.

Desta forma, este déficit pode afetar a produção final de grãos no caso do milho. Da mesma forma os períodos de poucas chuvas compreendidos entre 12 e 19 de janeiro de 2003 e entre 24 de janeiro e 08 de fevereiro de 2003, afetaram os estádios de início da floração (VT) e polinização (R1).

Já para a cultura da soja, mais tolerante a falta de água do que a cultura do milho, apenas o segundo período de déficit hídrico (Figura 1) pode ter afetado o a polinização (R1).

Embora também o estádio R1 tenha ocorrido durante um período de falta de água, a soja, por não ser híbrida, possui um período de polinização maior e, além disso, possui mais do que um período de floração podendo compensar em parte, as perdas ocasionadas no estádio R1.

4.2.2 Massa seca de raízes

Os valores de massa seca de raízes, após o manejo das coberturas de inverno e antes da semeadura das culturas de verão, constam na Tabela 5. A maior quantidade de raízes nos tratamentos onde havia culturas de inverno ocorreu devido, principalmente, ao sistema radicular fasciculado e denso da aveia preta.

Os valores da massa radicular total são semelhantes, porém inferiores aos encontrados por Gomar et al. (1998), que após quatro anos de semeadura direta de forrageiras hibernais sobre campo natural encontraram valores de 16,7 a 28,6 Mg ha⁻¹ de raízes, até os 30 cm de profundidade do solo. Streck (1999), em 20 cm de profundidade, encontrou valores médios de 13,0 Mg ha⁻¹ de raízes, para um campo natural sobre Argissolo Vermelho Distrófico típico, em Eldorado do Sul, RS.

Além de interferir no equilíbrio dinâmico e físico-hídrico do solo, por sua influência na ciclagem de nutrientes e agregação (Gomar et al., 1998), a massa radicular poderá afetar negativamente o desempenho de equipamentos com órgãos ativos funcionais no solo, tais como semeadoras, de modo a exigir maiores esforços para seu rompimento e/ou acúmulo nestes órgãos de modo a tornar o atrito não mais solo-ferramenta, e sim, solo-raíz ou solo-solo.

Mesmo com uma rápida decomposição dos resíduos superficiais, remanescem as raízes sob o solo, que, mesmo se decompondo, auxiliam na reestruturação do solo, infiltração de água pelos pequenos poros deixados, descompactação biológica de camadas compactadas e reposicionamento de nutrientes (Hargrove, 1997).

Tabela 5. Massa seca de raízes em duas profundidades em função de dos tratamentos antes da semeadura do milho e da soja, novembro de 2002.

| Tratamento** | Profundidade (cm) | | |
|--------------|---------------------------------|---------|--------|
| | 0 – 10 | 10 – 20 | 0 – 20 |
| | ----- Mg ha ⁻¹ ----- | | |
| A+ E | 14,5 a | 6,3 a | 20,7 a |
| A | 12,5 a | 3,5 b | 16,0 b |
| CN | 12,1 a | 5,5 ab | 17,6 b |

* Letras minúsculas diferentes nas colunas representam diferença estatística entre os tratamentos pelo teste de Duncan $P < 0,05$. CV = 43,4% (0 – 10cm); CV = 23,3% (10 – 20cm) e CV = 32,7% (0 – 20cm).

**A+E = aveia + ervilhaca; A = aveia; CN = campo natural

4.2.3 Resíduos culturais sobre o solo na semeadura das culturas de verão

A massa de resíduos sobre o solo após os tratamentos de inverno, antes da semeadura das culturas de verão, pode ser observada na Tabela 6. Os tratamentos que tiveram a inclusão de plantas de cobertura, aveia preta e aveia preta+ervilhaca, apresentaram maior massa seca de resíduos ($6,6 \text{ Mg ha}^{-1}$) por ocasião da semeadura do milho e da soja do que a do campo natural ($4,4 \text{ Mg ha}^{-1}$). Mesmo com as diferenças, a massa de resíduos sobre a superfície do solo, em todos os tratamentos testados, proporcionou uma cobertura de 100% ao solo, antes da semeadura das culturas de verão.

A cobertura do solo, por resíduos culturais, é essencial para continuidade dos sistemas conservacionistas, sobretudo a semeadura direta, pois protege o solo da ação dos agentes erosivos, diminui as perdas de água pelo processo evaporativo, e diminui a amplitude térmica do solo, sobretudo no verão.

Tabela 6. Massa seca de resíduos culturais em função dos manejos de coberturas de inverno, na superfície do solo antes da semeadura das culturas de milho e soja (novembro 2002).

| Tratamento | Massa seca de resíduos (Mg ha ⁻¹) |
|------------|---|
| A+E | 6,61 a |
| A | 6,60 a |
| CN | 4,63 b |

*Letras minúsculas diferentes nas colunas representam diferença estatística entre os tratamentos pelo teste de Duncan P<0,01. CV= 27,0%.

**A+E = aveia + ervilhaca; A = aveia; CN = campo natural

Por outro lado, do ponto de vista de mecanização, a palha na superfície do solo poderá levar a problemas com embuchamentos dos órgãos ativos e perda de tração por patinagem. Herzog (2002) e Herzog et al. (2002) notaram um aumento significativo da patinagem do trator a partir de 3,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia.

4.2.4 Esforço de tração na haste sulcadora de fertilizante

Na Tabela 7 constam as profundidades médias dos sulcos obtidas na semeadura do milho e da soja sobre os três tratamentos de cobertura do solo no inverno, não se observando diferenças entre os mesmos. Este fato deve-se a ação do disco de corte da palha, que, segundo Balbuena et al. (1998), trabalhando na avaliação de hastes sulcadoras de escarificadores, atua como limitador de profundidade em solos compactados.

Tabela 7. Profundidade média do sulco formado pela haste sulcadora de fertilizante, na semeadura de milho e soja (novembro de 2002).

| Tratamento | Milho | Soja |
|------------|----------------|------|
| | ----- cm ----- | |
| A+E | 6,8 | 6,1 |
| A | 7,2 | 6,2 |
| CN | 7,0 | 7,2 |

*Os tratamentos não apresentaram diferença estatística pelo teste de Duncan P<0,05. CV = 15,35% (milho); CV = 21,75% (soja).

**A+E = aveia + ervilhaca; A = aveia; CN = campo natural

As profundidades (Tabelas 7 e 8) não foram diferentes entre os diferentes tratamentos de cultura antecedente e nem do número de sulcadores

(linhas) em contato com o solo (3 na semeadura do milho e 5 na semeadura da soja).

Tabela 8. Profundidade máxima de atuação da haste sulcadora, na semeadura de milho e soja, em duas profundidades de atuação do haste sulcadora de fertilizante (novembro de 2002).

| Tratamento | Milho | Soja | Média |
|------------|----------------|-------|-------|
| | ----- cm ----- | | |
| Profundo | 8,4 a | 8,1a | 8,3 a |
| Raso | 5,6 b | 5,2 b | 5,4 b |

*Letras minúsculas diferentes nas colunas representam diferença estatística entre os tratamentos pelo teste de Duncan $P < 0,05$. CV = 16,94% (milho) e 18,32% (soja).

Modolo et al. (2003) notaram que à medida que aumentou o número de linhas de semeadura, a profundidade do sulco diminuiu, passando de 8,84 cm, com uma linha, para 5,94 cm com 5 linhas.

Entre as diferentes regulagens (Tabela 8) observa-se que a maior profundidade de atuação da haste foi efetivamente obtida na regulagem mais profunda, porém não se conseguiu obter a desejada, ou seja, de 12 cm. Na regulagem para a menor profundidade, onde se buscou 6 cm, também não obteve-se a profundidade desejada, embora nesta regulagem os valores tenham ficado mais próximos ao desejado (5,4 cm). Casão Junior et al. (2000) após compararem dez modelos de semeadoras adubadoras, todas equipadas com hastes sulcadoras de fertilizante, constataram dificuldade geral na regulagem da profundidade de atuação da haste.

O esforço de tração, necessário para uma haste sulcadora de fertilizante, na semeadura do milho e da soja, em função da cobertura do solo anterior está colocado na Tabela 9. Observa-se que na semeadura da cultura do milho, o tratamento com CN exigiu maior esforço de tração para a movimentação da haste no solo. Isto se deve, provavelmente, ao efeito das raízes das culturas anteriores (A+E e A) em reduzir a densidade do solo na camada onde o sulcador atuou (camada superficial).

Tabela 9. Esforço (kN) para tracionar uma haste sulcadora de fertilizante, em três coberturas do solo, na semeadura de milho e soja (novembro de 2002).

| Tratamento | Milho | Soja |
|------------|--------|--------|
| A+E | 0,77 b | 0,69 a |
| A | 0,75 b | 0,66 a |
| CN | 0,87 a | 0,65 a |

*Letras minúsculas diferentes nas colunas representam diferença estatística entre os tratamentos pelo teste de Duncan $P < 0,05$,. CV = 5,29% (milho) e 10,79% (soja).

**A+E = aveia + ervilhaca; A = aveia; CN = campo natural

***Umidade do solo na semeadura = 203 g kg⁻¹ e 191 g kg⁻¹ (para milho e soja).

O esforço para tracionar uma haste sulcadora adubadora, tanto na semeadura de milho, quanto na de soja, teve um aumento quando se modificou a regulagem da haste de rasa para profunda (Tabela 10). O aumento médio foi da ordem de 2,7 e 2,5 vezes, quando se modificou a regulagem de raso para profundo no milho e soja, respectivamente.

Por outro lado, os valores encontrados na Tabela 9, são inferiores aos preconizados pela ASAE (1999), que cita que a força de tração específica necessária para operar semeadoras-adubadoras de precisão, em solos preparados, é de 1,5 kN por linha. Já em semeadura direta, os valores variam entre 1,82 a 3,4 kN por linha de semeadura, para sulcador de discos e facão, respectivamente, de acordo com a textura do solo, podendo variar em $\pm 25\%$ (ASAE, 1999). Este fato pode ser explicado pelo elevado teor de água no solo durante a semeadura.

Tabela 10. Esforço (kN) para tracionar uma haste sulcadora de fertilizante, em duas profundidades de atuação, na semeadura do milho e da soja (novembro de 2002).

| Tratamento | Milho | Soja |
|------------|--------|--------|
| 8,3 | 1,16 a | 0,96 a |
| 5,4 | 0,43 b | 0,37 b |

*Letras minúsculas diferentes nas colunas representam diferença estatística entre os tratamentos pelo teste de Duncan $P < 0,05$. CV = 7,86% (milho) e 9,25% (soja).

Com o aumento da profundidade de atuação do haste sulcadora de fertilizante ocorreu incremento na área transversal da seção do sulco mobilizado (Tabela 11) e, conseqüentemente, do volume de solo mobilizado (Tabela 12), exigindo maior potência do trator para o deslocamento das linhas

de semeadura, em função da maior resistência do solo ao deslocamento da haste.

Os valores de força de tração obtidos neste trabalho aproximam-se dos citados por outros autores. Collins & Fowler (1996), em solos argilosos, obtiveram valores de força de tração de 0,2 e de 0,42 a 1,12 kN por linha, quando a semeadora estava equipada com sulcadores de discos duplos e facão, respectivamente. Casão Junior & Yamaoka (1990) encontraram valores de 0,82 e 0,34 kN por linha respectivamente, quando a semeadora-adubadora estava ou não equipada com haste escarificadora como haste sulcadora de fertilizante.

O maior esforço, por haste, necessário na semeadura do milho do que na semeadura da soja (Tabelas 8 e 9), para uma mesma regulagem, também pode estar associada ao teor de água do solo no momento da realização da operação, 203 g kg⁻¹ e 191 g kg⁻¹, respectivamente. Neste sentido, resultado semelhante foi obtido por Cepik et al. (2002).

Casão Junior et al. (1998) verificaram que a força de tração exigida pela semeadora-adubadora testada aumentou em função da velocidade de deslocamento, profundidade de atuação do sulcador (facão) e teor de água no solo, quando este passou da condição friável à plástica.

Além disso, podem ocorrer problemas com o uso de facão quando o solo apresentar-se úmido, devido à sua aderência ao implemento e aos elementos sulcadores (Vieira et al., 1998). Portella et al. (1997) verificaram que em solos com baixo teor de água, as semeadoras equipadas com sulcador tipo facão colocaram as sementes em maior profundidade do que as com discos duplos. Nos mais úmidos, ocorreu o contrário, indicando problemas de embuchamento ou de aderência de solo ao facão.

4.2.5 Área transversal e volume de solo mobilizado

Na Tabela 11 constam as áreas transversais ao sentido do sulco, mobilizadas pela haste sulcadora de adubo, para os diferentes tratamentos de manejo culturais anteriores a semeadura do milho e da soja.

Tabela 11. Área da secção transversal de solo mobilizada pela haste sulcadora de fertilizante, em função dos resíduos culturais anteriores na semeadura do milho e da soja (novembro de 2002).

| Tratamento | Milho | Soja |
|------------|-----------------------------|------|
| | ----- cm ² ----- | |
| A+E | 18,0 | 15,9 |
| A | 19,2 | 17,8 |
| CN | 15,3 | 16,2 |

* Os tratamentos não apresentaram diferença estatística pelo teste de Duncan $P < 0,05$.
CV = 24,63% (milho); CV = 26,64% (soja).

**A+E = aveia + ervilhaca; A = aveia; CN = campo natural.

Pela observação das médias citadas na Tabela 11, percebe-se que os tratamentos onde havia culturas de cobertura no inverno (Tabela 5), apresentaram também uma maior área transversal de solo mobilizada pela haste sulcadora e volume de solo mobilizado (Tabela 12). Estes valores podem interferir na exigência de esforços para o deslocamento das hastes sulcadoras e sua eficiência no rompimento do solo e formação do sulco (leito) de semeadura.

A área de solo mobilizada é influenciada pelos valores de profundidade do sulco (Modolo et al., 2003).

Tabela 12. Área da secção transversal de solo mobilizada pela haste sulcadora de fertilizante, em função da profundidade de atuação, na semeadura do milho e da soja (novembro de 2002).

| Profundidade haste (cm) | Milho | Soja |
|-------------------------|-----------------------------|--------|
| | ----- cm ² ----- | |
| 8,3 | 20,3 a | 20,1 a |
| 5,4 | 14,7 b | 13,2 b |

*Letras minúsculas diferentes nas colunas representam diferença estatística entre os tratamentos pelo teste de Duncan $P < 0,05$,. CV = 29,07% (milho) e 22,87% (soja).

Dessa forma, os valores relativamente baixos encontrados nos parâmetros área mobilizada transversalmente ao sulco (Tabelas 11 e 12) e volume de solo mobilizado (Tabela 13 e 14), estão associados às baixas profundidades de sulco efetivamente atingidas (Tabelas 7 e 8).

Tabela 13. Volume de solo mobilizado pela haste sulcadora de fertilizante, em função dos resíduos culturais anteriores na semeadura do milho e da soja (novembro de 2002).

| Tratamento | Milho | Soja |
|------------|---|------|
| | ----- m ³ ha ⁻¹ ----- | |
| A+E | 22,5 | 39,7 |
| A | 24,0 | 44,4 |
| CN | 19,1 | 40,5 |

* Os tratamentos não apresentaram diferença estatística pelo teste de Duncan P<0,05. CV = 24,63 (milho); CV = 26,64 (soja).

**A+E = aveia + ervilhaca; A = aveia; CN = campo natural.

O teor de água do solo também pode afetar o volume de solo mobilizado, por ter efeito direto na relação solo-ferramenta, e na definição do plano de cisalhamento do solo.

Tabela 14. Volume de solo mobilizado na semeadura de milho e soja em duas profundidades de atuação da haste sulcadora de fertilizante (novembro de 2002).

| Tratamento | Milho | Soja |
|------------|---|--------|
| | ----- m ³ ha ⁻¹ ----- | |
| 8,3 | 25,3 a | 50,2 a |
| 5,4 | 18,4 b | 32,9 b |

*Letras minúsculas diferentes nas colunas representam diferença estatística entre os tratamentos pelo teste de Duncan P<0,05,. CV = 29,06 (milho) e 22,87 (soja).

Os maiores valores de volume de solo mobilizado pela haste sulcadora (Tabela 14), na cultura da soja em relação a cultura do milho, eram esperados pelo maior número de hastes presentes na semeadura da soja. A distância entre linhas utilizada para esta cultura foi de 40 cm, enquanto que, para a cultura do milho, foi de 80 cm.

4.2.6 Esforço de tração por área de solo mobilizada

Na Tabela 15 constam os valores de força de tração medida na haste, necessários para a mobilização de um cm² de solo, os quais não diferiram

entre os tratamentos de culturas de inverno, dentro da mesma profundidade (Tabela 7). Porém, este valor foi diferente quando a profundidade do sulcador foi comparada dentro de um mesmo tratamento (Tabela 8).

Tabela 15. Esforço necessário para a mobilização do solo ($N\text{ cm}^{-2}$) em função da cultura anterior na semeadura de milho e soja (novembro de 2002).

| Tratamento | Milho | Soja |
|------------|--------------------------------|------|
| | ----- $N\text{ cm}^{-2}$ ----- | |
| A+E | 44,6 | 39,8 |
| A | 43,6 | 38,5 |
| CN | 61,4 | 43,0 |

* Os tratamentos não apresentaram diferença estatística pelo teste de Duncan $P < 0,05$.
CV = 31,10% (milho); CV = 29,85% (soja).

**A+E = aveia + ervilhaca; A = aveia; CN = campo natural

A análise conjunta das Tabelas 10, 11 e 14, permite notar que o maior número de hastes e o maior volume de solo mobilizado demandou menor esforço, se consideradas as linhas de semeadura individualmente.

Pela Tabela 16 observa-se que a maior profundidade de atuação da haste aumentou o esforço necessário para sua movimentação no solo.

Tabela 16. Esforço necessário para a mobilização do solo ($N\text{ cm}^{-2}$) em duas profundidades de atuação da haste sulcadora de fertilizante na semeadura de milho e soja (novembro de 2002).

| Tratamento | Milho | Soja |
|------------|--------------------------------|--------|
| | ----- $N\text{ cm}^{-2}$ ----- | |
| 8,3 | 68,3 a | 50,3 a |
| 5,4 | 31,5 b | 30,6 b |

*Letras minúsculas diferentes nas colunas representam diferença estatística entre os tratamentos pelo teste de Duncan $P < 0,05$. CV = 16,94% (milho) e 18,32% (soja).

4.2.7 Patinagem dos rodados do trator

Os valores de patinagem dos rodados do trator obtidos durante a semeadura das culturas de verão, em função dos diferentes tipos de palha e

profundidades de atuação da haste sulcadora de fertilizante, constam na Tabela 17.

A patinagem foi afetada, principalmente, pela profundidade de atuação da haste sulcadora de fertilizante (Tabelas 6 e 7), tanto na semeadura do milho, quanto na da soja. A maior profundidade de atuação das hastes exigiu um maior esforço para o cisalhamento do solo e formação do sulco de semeadura, e devido a isso, maior tração por parte do trator. O recalque do rodado no solo é dificultado pela presença de resíduos na superfície do mesmo.

A profundidade de atuação do sulcador facão, juntamente com as doses de resíduos sobre a superfície do solo, devem ser considerados como fatores que influem na patinagem de rodados de tratores agrícolas na operação de semeadura direta, já que a profundidade de atuação dos órgãos ativos, principalmente discos de corte de resíduos e haste sulcadora, promovem maior esforço de tração (Herzog et al., 2002).

Embora fossem esperadas diferenças mais pronunciadas, a patinagem foi pouco afetada pela presença dos diferentes tipos de resíduos (Tabela 17). Isto pode ser explicado pela elevada umidade do solo e dos resíduos superficiais na semeadura do milho e da soja. Os resíduos úmidos acabaram por não oferecer resistência ao cisalhamento do solo pelas garras dos pneus e, por isso, facilitando a tração e diminuindo a patinagem.

Tabela 17. Patinagem das rodas motrizes do trator em função dos tratamentos anteriores a semeadura de milho e soja, novembro de 2002.

| Tratamentos | Milho | soja |
|-------------|-------------------------------|------|
| | ----- m.m ⁻¹ ----- | |
| A+E | 0,09 | 0,10 |
| A | 0,09 | 0,10 |
| CN | 0,09 | 0,10 |

*Os tratamentos não apresentaram diferença estatística pelo teste de Duncan $P < 0,05$.

CV = 19,56% (milho); CV = 30,40% (soja).

**A+E = aveia + ervilhaca; A = aveia; CN = campo natural

A Tabela 18 mostra que tanto o número de linhas (cultura a ser semeada), como a profundidade de atuação das hastes sulcadoras, afetaram a patinagem das rodas motrizes.

Este comportamento era esperado, já que, em ambos os casos, há um aumento da resistência do solo ao sulcamento, pelo aumento da secção transversal de solo mobilizada, e, por conseqüência, ao deslocamento do conjunto trator-semeadora.

Tabela 18. Patinagem das rodas motrizes do trator em função da profundidade de atuação da haste sulcadora de fertilizante na semeadura de milho e soja, novembro de 2002.

| Tratamento | Milho | Soja |
|------------|--------------------------------|--------|
| | ----- N cm ⁻² ----- | |
| 8,3 | 0,11 a | 0,13 a |
| 5,4 | 0,07 b | 0,07 b |

*Letras minúsculas diferentes nas colunas representam diferença estatística entre os tratamentos pelo teste de Duncan $P < 0,05$. CV = 9,76% (milho) e CV = 11,16% (soja).

Os valores de patinagem, observados nas Tabelas 17 e 18, mostram que na operação de semeadura sobre campo natural, a patinagem não alcança limites que justifiquem a lastragem do trator, se o haste sulcadora de fertilizante estiver atuando em profundidade inferior a 6 cm. Por outro lado, na regulagem para colocação de fertilizante abaixo desta profundidade, os valores já atingem o limite de 10%. Nesse caso, alguns autores já indicam ser apropriada a lastragem como meio de melhorar a tração.

Os limites de patinagem para a melhor eficiência tratória dos tratores, de acordo com o tipo de solo no qual está sendo efetuada a operação, são definidos pela ASAE (1989) como sendo entre 8 e 10% para solos não mobilizados, 11 a 13% em solos mobilizados e entre 14 a 16% em solos soltos ou arenosos. Borgman et al. (1974) indicam a necessidade de adição ou retirada de lastros ao trator em função da patinagem, sendo que valores de patinagens de 0 a 5% indicam que lastros podem ser retirados, 10 a 15% indicam lastragem apropriada, enquanto que de 20 a 30%, lastros devem ser adicionados.

4.2.8 Produtividade das culturas

Os valores da produtividade do milho, em função dos resíduos culturais anteriores, constam na Tabela 19.

Antes de se discutir os valores de produtividade encontrados, cabe destacar que, na época da semeadura deste experimento (nov/dez 2002), pela influência do fenômeno climático “El Niño” ocorriam chuvas quase diariamente, não havendo deficiência hídrica até final de janeiro de 2003, quando as culturas, em especial o milho, entraram em fase reprodutiva (floração) e houve uma estiagem.

Tabela 19. Produtividade do milho em função da cobertura por resíduos vegetais anteriores e da profundidade de atuação da haste sulcadora adubadora na semeadura (safra 2002/03).

| Tratamento | Produtividade (Mg ha ⁻¹) | | |
|------------|--------------------------------------|--------|--------|
| | Profundidade da haste (cm) | | |
| | 8,3 | 5,4 | Média |
| A+E | 4,6 bA | 4,2 aA | 4,4 ab |
| A | 4,2 bA | 4,3 aA | 4,2 b |
| CN | 5,5 aA | 4,2 aB | 4,8 a |

*Letras minúsculas diferentes nas colunas e maiúsculas nas linhas indicam diferença estatística entre os tratamentos pelo teste de Duncan P<0,05. CV = 10,91% para tratamentos e profundidade e 14,81% (média).

**A+E = aveia + ervilhaca; A = aveia; CN = campo natural

A maior produtividade obtida no campo natural, na profundidade de 8,3 cm, pode ser explicada pelo fato do solo estar com uma boa condição química, quando da instalação do experimento (Tabela 1).

Outro fator que pode ter sido de importância é a menor presença de resíduos culturais na superfície, em relação aos tratamentos com espécies de cobertura de solo no inverno, o que exige um menor tempo para mineralização e pode ter uma liberação mais rápida de compostos nitrogenados orgânicos. Segundo Rizzardi (1998), a adição ao solo de resíduos vegetais com alta relação C/N (no caso a aveia) ativa a população de microorganismos responsáveis pela decomposição da matéria orgânica, fazendo com que o nitrato e o amônio praticamente desapareçam do solo temporariamente. O mesmo autor cita que a imobilização aumenta na medida em que a relação C/N do substrato é maior.

Embora sem diferenciação estatística entre os demais tratamentos, a produção intermediária obtida no tratamento A+E (Tabela 19) pode ser explicada pela presença de uma leguminosa (ervilhaca), que baixando a

relação C/N da cobertura superficial, acelera o processo descrito por Rizzardi (1998).

A produtividade da soja na safra 2002/03 no experimento foi acima da média histórica do Rio Grande do sul, porém um pouco abaixo das médias obtidas em lavouras já consolidadas. Neste caso, a menor produtividade observada no tratamento A+E (Tabela 19), pode ser devido a maior disponibilidade de N no início da cultura. Em leguminosas, quando inoculadas, a presença de N disponível pode inibir a infecção das plântulas pelo *Rhizobium* ou, ainda, não torná-lo efetivo quanto à disponibilização deste nutriente às plantas.

Já a produtividade da cultura soja, em função das culturas de cobertura de inverno, pode ser vista na Tabela 20.

Tabela 20. Produtividade da cultura da soja em função dos tratamentos de cobertura do solo no inverno (safra 2002/03).

| | Produtividade (Mg ha ⁻¹) |
|-----|--------------------------------------|
| A+E | 1,6 b |
| A | 2,1 a |
| CN | 2,2 a |

*Letras minúsculas diferentes nas colunas diferença estatística entre os tratamentos pelo teste de Duncan P<0,05. CV = 14,81%

**A+E = aveia + ervilhaca; A = aveia; CN = campo natural

A profundidade de atuação da haste sulcadora de fertilizante não se mostrou eficaz quanto ao aumento da produtividade da soja (Tabela 21).

Por ter sido um ano com elevada precipitação durante os estádios vegetativos da cultura do milho, a não existência de deficiência hídrica igualou os tratamentos durante a formação da planta. As produtividades relativamente baixas foram definidas por um déficit hídrico durante o florescimento (pendoamento) que atingiu a cultura de modo semelhante para os diferentes tratamentos. Já a cultura da soja, devido ao seu sistema radicular explorar um menor volume de solo, foi mais afetada, positivamente, pela maior profundidade de colocação do fertilizante e maior mobilização de solo no sulco.

Tabela 21. Produtividade da soja em função da profundidade de atuação da haste sulcadora de adubo na semeadura da soja (safra 2002/03)

| Profundidade (cm) | Produtividade (Mg ha ⁻¹) |
|-------------------|--------------------------------------|
| 8,3 | 2,0 |
| 5,4 | 1,9 |

* Os tratamentos não apresentaram diferença estatística pelo teste de Duncan P<0,05.
CV = 15,17%.

4.2.9 Solo descoberto após a semeadura

Na Tabela 22 estão os percentuais de solo descoberto após a semeadura das culturas de milho e de soja.

Tabela 22. Solo descoberto após a operação de semeadura do milho e da soja nas diferentes culturas antecedentes (novembro de 2002).

| Tratamento | Milho | Soja |
|------------|---|------|
| | -----m ² m ⁻² ----- | |
| A+E | 0,10 | 0,18 |
| A | 0,08 | 0,21 |
| CN | 0,08 | 0,15 |

* Os tratamentos não apresentaram diferença estatística pelo teste de Duncan P<0,05.
CV = 43,04% (milho); CV = 37,68% (soja).

**A+E = aveia + ervilhaca; A = aveia; CN = campo natural

A semeadura com utilização de facões rompedores para formação do sulco, revolve o solo deixando, na sua superfície, solo mobilizado descoberto, exposto a ação dos agentes erosivos. Além disso, o sulco representa, por sua mobilização, local de maior potencial à germinação de invasoras. Desse modo, a avaliação do percentual de solo descoberto após a operação de semeadura pode ser um indicador da “qualidade” dessa operação.

Não houve diferenças entre os diferentes tratamentos envolvendo as coberturas do solo por culturas antecessoras (Tabela 23). O ideal seria a realização da semeadura direta “invisível”, ou seja, que após a semeadura não fosse possível observar nenhum vestígio do sulco formado pela semeadora,

evitando a perda de água do solo e o encrostamento superficial (Siqueira et al., 2001).

Tabela 23. Solo descoberto após a operação de semeadura do milho e da soja em função da profundidade de atuação da haste sulcadora de fertilizante na semeadura de milho e soja, novembro de 2002.

| Tratamento | Milho | Soja |
|------------|--|------|
| | ----- m ² m ⁻² ----- | |
| 8,3 | 0,08 | 0,19 |
| 5,4 | 0,09 | 0,17 |

*Os tratamentos não apresentaram diferença estatística pelo teste de Duncan $P < 0,05$.
CV = 29,69% (milho) e 43,81% (soja).

Observando-se os dados da Tabela 23, verifica-se que quando analisado o percentual de solo descoberto em cada cultura, após a semeadura, não houve diferenças entre as regulagens de profundidade de atuação da haste sulcadora para milho e soja.

Embora não submetido à comparação estatística, observa-se que a semeadura da cultura da soja ocasionou uma maior exposição do solo. Este fato explica-se, novamente, pela distância entre as fileiras de ambas as culturas, onde a de menor espaçamento ocasionou maior exposição pelo maior número de linhas de semeadura por unidade de área.

4.2.10 Cobertura do solo por invasoras após a colheita do milho e da soja

Os valores de cobertura do solo por invasoras após a colheita de milho e de soja estão na Tabela 24. A maior cobertura da superfície do solo por plantas invasoras na cultura do milho, em relação à cultura da soja, está relacionada, principalmente, com o espaçamento entre sulcos, maior no milho do que na soja.

Tabela 24. Cobertura do solo por invasoras após a colheita do milho e da soja (maio 2003).

| Tratamento | Milho | Soja | Média |
|------------|--|--------|---------|
| | -----m ² .m ⁻² ----- | | |
| A+E | 0,79 a | 0,31 a | 0,55 a |
| A | 0,39 b | 0,30 a | 0,34 b |
| CN | 0,48 ab | 0,28 a | 0,38 ab |

*Letras minúsculas diferentes nas colunas representam diferença estatística entre os tratamentos pelo teste de Duncan P<0,05. CV = 33,22%.

**A+E = aveia + ervilhaca; A = aveia; CN = campo natural

Pitelli (1985) afirma ser o espaçamento entre sulcos fator fundamental na determinação da capacidade competitiva de uma cultura, pois determina a precocidade e a intensidade do sombreamento por ela promovido. Geralmente, à medida que se diminui o espaçamento entre linhas, o sombreamento do solo ocorre de maneira mais intensa, aumentando a eficiência das medidas empregadas no controle das plantas daninhas.

4.3 SAFRA 2003/2004

4.3.1 Condições de chuva e Evapotranspiração

Na Figura 2 podem ser vistas as condições de chuvas e evapotranspiração durante o cultivo do milho e da soja na safra 2003/04.

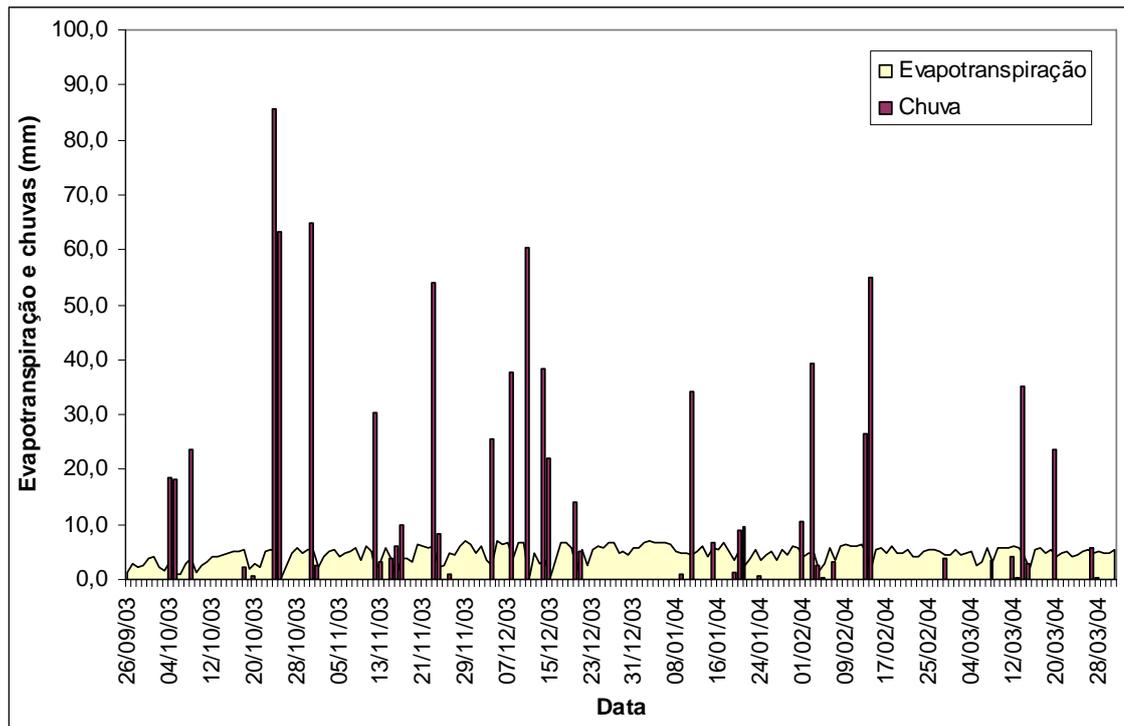


Figura 2. Evapotranspiração e chuvas (mm) no período de outubro de 2003 a abril de 2004.

Na Figura 2 observa-se que, a exemplo do ano anterior (Figura 1) houve um período inicial, compreendido entre a semeadura e o desenvolvimento vegetativo, de boa quantidade e distribuição das chuvas e outro período (floração, enchimento de grãos e maturação) onde houve um forte déficit hídrico. A observação conjunta da Figura 2 e da Tabela 25 permite perceber que, na safra 2003/04, o milho foi afetado pela falta de água nos estádios V10 a V15 e R2, não havendo problemas tão pronunciados sobre a produtividade quanto no ano anterior, uma vez que a polinização (R1) ocorreu num período sem déficit hídrico. A partir daí o milho foi afetado parcialmente em R2, enchimento dos grãos e R4 e R5 (início da maturação).

Já para a soja, os efeitos do déficit hídrico foram mais sentidos na safra 2003/04, uma vez que a falta de água ocorreu nos estádios V7 (início da primeira floração) e ainda em R1, R3, R4 e R5 (segunda e terceira floração, enchimento de grãos e fixação das vagens).

Tabela 25. Dias após a semeadura (DAS) dos principais estádios das culturas do milho e da soja, safra 2003/2004.

| Estádio | milho | soja |
|---------|-------|------|
| | DAS | |
| VE* | 5 | 5 |
| VC | - | 11 |
| V3 | 15 | 35 |
| V7 | 29 | 50 |
| V10 | 41 | - |
| V15 | 52 | - |
| VT | 68 | - |
| R1 | 74 | 61 |
| R2 | 83 | 70 |
| R3 | 88 | 81 |
| R4 | - | 98 |
| R5 | 105 | 113 |
| R6 | 128 | 128 |
| R7 | - | 138 |
| R8 | - | 142 |

* A semeadura do milho e da soja foi realizada em 06/11/2003. - Estádios não identificados ou não existentes para cultura.

4.3.2 Massa seca de raízes

Na Tabela 26 observa-se a quantidade de raízes nos diferentes tratamentos antes da semeadura das culturas do milho e da soja safra 2003/04.

A observação da Tabela 26 permite verificar que houve poucas alterações na quantidade de raízes presentes no solo entre os dois anos avaliados, sendo que os tratamentos mostraram a mesma ordem, se comparados pela quantidade de raízes, que no ano anterior. Observa-se, porém, um aumento da massa radicular no solo nos tratamentos que envolveram culturas de inverno, com redução nas parcelas em que houve pousio, o qual, na safra anterior foi ocupado com campo natural dessecado. Acredita-se que o aumento na massa radicular deve-se principalmente à presença da aveia nos tratamentos com culturas de cobertura no inverno.

Tabela 26. Massa seca de raízes em duas profundidades em função de diferentes tratamentos antes da semeadura do milho e da soja, novembro de 2003.

| Tratamento** | Profundidade (cm) | | |
|--------------|---------------------------------|---------|---------|
| | 0 – 10 | 10 – 20 | 0 – 20 |
| | ----- Mg ha ⁻¹ ----- | | |
| A+ E | 15,5 a | 6,2 a | 21,7 a |
| A | 13,8 ab | 4,0 a | 17,8 ab |
| P | 10,1 b | 5,4 a | 15,5 b |

* Letras minúsculas diferentes nas colunas representam diferença estatística entre os tratamentos pelo teste de Duncan, P<0,05. CV=19,5%

**A+E = aveia + ervilhaca; A = aveia; P = pousio

A aveia-preta tem desenvolvimento inicial bastante rápido e devido ao seu sistema radicular bastante desenvolvido, é muito eficiente na reciclagem de nutrientes, adaptando-se bem em grande variedade de solos (Derpsch & Calegari, 1992).

Os resultados acima eram esperados, uma vez que a implantação das culturas de inverno gera um acréscimo de raízes significativo, o que não ocorre no pousio, mesmo este infestado por invasoras.

4.3.3 Resíduos culturais sobre o solo na semeadura das culturas de verão

Na Tabela 27 constam os valores das quantidades de resíduos culturais anteriores à semeadura das culturas do milho e da soja, em novembro de 2003.

A observação da Tabela 27 permite notar que a dinâmica dos resíduos superficiais sobre o solo, nos diferentes tratamentos testados, acompanhou ao observado para as raízes, ou seja, os tratamentos envolvendo culturas hibernais aumentaram a massa de resíduos sobre a superfície do solo do primeiro para o segundo ano de cultivo, o que também foi observado para a massa de raízes.

Tabela 27. Massa seca de resíduos culturais em função dos tratamentos de coberturas de inverno, na superfície do solo antes da semeadura das culturas de milho e soja (novembro 2003).

| Tratamento | Massa seca de resíduos (Mg ha ⁻¹) |
|------------|---|
| A+E | 8,5 a |
| A | 8,5 a |
| P | 4,7 b |

*Letras minúsculas diferentes nas colunas representam diferença estatística entre os tratamentos pelo teste de Duncan $P < 0,01$. CV = 14,62%.

**A+E = aveia + ervilhaca; A = aveia; P = pousio

Ainda observa-se a diminuição da massa de resíduos sobre a superfície do solo no tratamento de pousio (P), antes denominado de CN (campo natural).

Embora o aumento da massa de resíduos sobre o solo não esteja relacionado apenas à presença de culturas de inverno, uma vez que nesse cultivo estão incluídos valores da massa residual resultante das culturas de milho e de soja da safra anterior, pode-se afirmar que a presença das culturas de inverno foi decisiva para a obtenção deste resultado.

4.3.4 Esforço de tração na haste sulcadora de fertilizante

Na Tabela 28 constam as profundidades médias do sulco obtidas para os diferentes tratamentos de culturas de cobertura na semeadura do milho e da soja, safra 2003/04.

Percebe-se que, nesta semeadura, as profundidades atingidas pela haste sulcadora de adubo foram superiores às da safra anterior (Tabela 7).

A menor umidade do solo na semeadura nesta safra, em relação a anterior, pode ter beneficiado a sucção da haste e, com isto, aumentando a profundidade de penetração da haste no sulco.

Tabela 28. Profundidade do sulco formado pela haste sulcadora de fertilizante, na semeadura de milho e soja (novembro de 2003).

| Profundidade | Milho | Soja |
|--------------|----------------|------|
| | ----- cm ----- | |
| A+E | 10,6 | 9,8 |
| A | 10,0 | 10,2 |
| P | 10,2 | 9,9 |

* Os tratamentos não apresentaram diferença estatística pelo teste de Duncan $P < 0,05$.
CV = 12,64% (milho); CV = 13,36% (soja).

**A+E = aveia + ervilhaca; A = aveia; P = pousio.

Na Tabela 29 constam os valores das profundidades do sulco de fertilizante, registrados para os tratamentos culturas do milho e da soja, safra 2003/04. Observa-se que a maior profundidade planejada (12,0 cm), foi efetivamente atingida na semeadura da cultura do milho e, para a soja, conseguiu-se 11,4 cm. Para a menor profundidade desejada (6,0 cm) todos os tratamentos ultrapassaram o desejado, ficando em média, a 8,6 cm.

Tabela 29. Profundidade máxima de atuação da haste sulcadora, na semeadura de milho e soja, em duas profundidades de atuação da haste sulcadora de fertilizante (novembro de 2003).

| Tratamento | Milho | Soja | Média |
|------------|----------------|--------|--------|
| | ----- cm ----- | | |
| 11,7 | 12,0 a | 11,4 a | 11,7 a |
| 8,6 | 8,5 b | 8,6 b | 8,6 b |

*Letras minúsculas diferentes nas colunas representam diferença estatística entre os tratamentos pelo teste de Duncan $P < 0,05$,. CV = 7,14% (milho) e 9,30% (soja).

Embora sem análise comparativa entre ambas é provável que o número de linhas possa ter afetado a profundidade do sulco

A Tabela 30 mostra que não houveram diferenças relacionadas ao esforço tratório entre as diferentes coberturas do solo durante o inverno. Porém, em ambas as semeaduras (milho e soja), a maior profundidade de atuação do sulcador provocou aumento na força de tração.

Tabela 30. Esforço para tracionar uma haste sulcadora de fertilizante, em diferentes coberturas do solo, na semeadura de milho e soja (novembro de 2003).

| Tratamento | Milho | Soja |
|------------|--------------|------|
| | -----kN----- | |
| A+E | 2,1 | 2,2 |
| A | 2,3 | 2,0 |
| P | 2,3 | 2,2 |

* Os tratamentos não apresentaram diferença estatística pelo teste de Duncan $P < 0,05$.

CV = 7,81% (milho); CV = 10,70% (soja).

**A+E = aveia + ervilhaca; A = aveia; P = pousio.

***Umidade do solo na semeadura = 160 g kg^{-1}

Os maiores valores de esforço de tração obtidos nesta semeadura, em relação à do ano anterior, pode ser atribuída ao menor teor de água do solo na safra 2003/04, respectivamente, 195 e 160 g kg^{-1} . Cepik et al. (2002) em um Argissolo Vermelho Distrófico típico, sob campo natural, concluíram que a relação entre a força de tração requerida e a área de solo mobilizada foi afetada pela profundidade de atuação do sulcador nas condições de solo seco e friável.

Os valores obtidos na safra 2003/04 (Tabelas 30 e 31), com a umidade gravimétrica do solo de 160 g kg^{-1} , na semeadura direta de ambas as culturas, são compatíveis com o preconizado pela ASAE (1999), ou seja, de $3,4 \text{ kN}$ por linha de semeadura, com variação de $\pm 25\%$, para sulcadores tipo facão operando em solo argiloso.

Tabela 31. Esforço (kN) para tracionar uma haste sulcadora de fertilizante, em diferentes profundidades de atuação, na semeadura do milho e da soja (novembro de 2003).

| Tratamento | Milho | Soja |
|------------|-------|-------|
| 11,7 | 2,9 a | 2,9 a |
| 8,6 | 1,5 b | 1,4 b |

*Letras minúsculas diferentes nas colunas representam diferença estatística entre os tratamentos pelo teste de Duncan $P < 0,05$,. CV = 8,83% (milho) e 9,79% (soja).

4.3.5 Área transversal e volume de solo mobilizado

Na Tabela 32 constam os valores da área da secção transversal de solo mobilizada pela haste sulcadora nos diferentes tratamentos de culturas de cobertura durante a semeadura das culturas do milho e da soja, safra 2003/04.

Tabela 32. Área da secção transversal de solo mobilizada pela haste sulcadora de fertilizante, em função dos resíduos culturais anteriores na semeadura do milho e da soja (novembro 2003).

| Tratamento | Milho | Soja |
|------------|-----------------------------|------|
| | ----- cm ² ----- | |
| A+E | 46,8 | 47,8 |
| A | 52,2 | 46,3 |
| P | 53,1 | 54,2 |

* Os tratamentos não apresentaram diferença estatística pelo teste de Duncan $P < 0,05$. CV=25,02% (milho); CV= 33,30% (soja). **A+E = aveia + ervilhaca; A = aveia; P = pousio.

Pela observação das Tabelas 32 e 33, e comparação destas com as Tabela 11 e 12, percebe-se um maior valor de área transversal mobilizada na semeadura da safra 2003/04, em relação a safra 2002/03. A diferença obtida pode ser atribuída a maior profundidade do sulco obtida neste ano e a menor umidade do solo, que permite maior fratura do solo pela ponteira da haste, o que não ocorreu com o solo excessivamente úmido. A área de solo mobilizada é influenciada pelos valores de profundidade do sulco (Modolo et al., 2003) e da umidade do solo (Portella et al., 1997; Cepik et al., 2002).

A exemplo do que ocorreu com área transversal do sulco, o volume de solo mobilizado foi influenciada pelo teor de água do solo e pela profundidade do sulco na semeadura do milho e da soja, safra 2003/04.

Tabela 33. Área da secção transversal de solo mobilizada pela haste sulcadora de fertilizante, em função da profundidade de atuação, na semeadura do milho e da soja (novembro de 2003).

| Profundidade | Milho | Soja |
|--------------|-----------------------------|--------|
| | ----- cm ² ----- | |
| 11,7 | 60,5 a | 57,8 a |
| 8,6 | 40,8 b | 41,1 b |

*Letras minúsculas diferentes nas colunas representam diferença estatística entre os tratamentos pelo teste de Duncan $P < 0,05$. CV = 31,92% (milho) e 18,73% (soja).

Nas Tabelas 34 e 35 constam, respectivamente, os valores do volume de solo mobilizado pela haste sulcadora do fertilizante na semeadura do milho e da soja para as diferentes coberturas da superfície do solo e profundidades de deposição do fertilizante na semeadura, safra 2003/04. Novamente, em função do número de linhas de semeadura, o volume de solo mobilizado na semeadura da soja foi superior ao volume de solo mobilizado pela semeadura do milho.

Pela observação da Tabela 35, o volume de solo mobilizado em relação à profundidade da haste sulcadora, percebe-se maiores valores na maior profundidade de atuação do sulcador.

Tabela 34. Volume de solo mobilizado pela haste sulcadora de fertilizante, em função dos resíduos culturais anteriores na semeadura do milho e da soja (novembro de 2003).

| Tratamento | Milho | Soja |
|------------|---|-------|
| | ----- m ³ ha ⁻¹ ----- | |
| A+E | 59,7 | 117,0 |
| A | 57,9 | 116,0 |
| P | 67,8 | 132,6 |

* Os tratamentos não apresentaram diferença estatística pelo teste de Duncan P<0,05. CV = 25,26% (milho); CV = 33,30% (soja).

**A+E = aveia + ervilhaca; A = aveia; P = pousio.

Para Mion et al. (2002), em experimento conduzido sobre um Nitossolo com umidade gravimétrica de 0,29 kg kg⁻¹, a medida em que se aumentou a profundidade da haste sulcadora, aumentou o volume de solo mobilizado, chegando a uma diferença de 78% entre a menor e a maior profundidade testada (0,12 e 0,30 m, respectivamente).

Tabela 35. Volume de solo mobilizado na semeadura de milho e soja em duas profundidades de atuação do haste sulcadora de fertilizante (novembro 2003).

| Tratamento | Milho | Soja |
|------------|---|---------|
| | ----- m ³ ha ⁻¹ ----- | |
| 11,7 | 72,3 a | 147,6 a |
| 8,6 | 51,3 b | 96,1 b |

*Letras minúsculas diferentes nas colunas representam diferença estatística entre os tratamentos pelo teste de Duncan P<0,05,. CV = 24,65% (milho) e 18,73% (soja).

4.3.6 Esforço de tração por área de solo mobilizada

Na Tabela 36 constam os valores do esforço necessário para a mobilização do solo ($N\text{ cm}^{-2}$), em função da cultura anterior na semeadura de milho e soja, safra 2003/04. Observa-se que, em função da cultura anterior, não houve diferença entre os tratamentos, quanto ao esforço necessário para mobilização do solo. Ainda, pode-se perceber que os esforços para a semeadura do milho foram muito semelhantes aos requeridos para semeadura da soja, o que é explicado, principalmente pela umidade do solo (160 g kg^{-1}) no momento da semeadura, sem variação entre os tratamentos.

Tabela 36. Esforço necessário para a mobilização do solo ($N\text{ cm}^{-2}$) em função da cultura anterior na semeadura de milho e soja (novembro de 2003).

| Tratamento | Milho | Soja |
|------------|--------------------------------|------|
| | ----- $N\text{ cm}^{-2}$ ----- | |
| A+E | 48,6 | 45,8 |
| A | 47,0 | 46,9 |
| P | 45,4 | 39,6 |

* Os tratamentos não apresentaram diferença estatística pelo teste de Duncan $P < 0,05$.

CV = 28,32% (milho); CV = 26,91% (soja).

** A+E = aveia + ervilhaca; A = aveia; P = pousio.

Na Tabela 37 consta o esforço necessário para mobilização de um cm^2 de solo, nas diferentes profundidades de atuação da haste sulcadora de fertilizante testadas, na semeadura do milho e da soja, safra 2003/04.

Tabela 37. Esforço necessário para a mobilização do solo ($N\text{ cm}^{-2}$) em duas profundidades de atuação do haste sulcadora de fertilizante na semeadura de milho e soja (novembro de 2003).

| Tratamento | Milho | Soja |
|------------|--------------------------------|--------|
| | ----- $N\text{ cm}^{-2}$ ----- | |
| 11,7 | 51,5 a | 53,6 a |
| 8,6 | 42,5 b | 34,5 b |

*Letras minúsculas diferentes nas colunas representam diferença estatística entre os tratamentos pelo teste de Duncan $P < 0,05$, CV = 39,84% (milho) e 27,59% (soja).

4.3.7 Patinagem dos rodados do trator

Pode-se observar nas Tabelas 38 e 39 os valores de patinagem das rodas motrizes na semeadura do milho e da soja, respectivamente, safra 2003/04.

Tabela 38. Patinagem das rodas motrizes do trator, em função de diferentes tipos de resíduos na superfície do solo e profundidade de atuação da haste sulcadora de fertilizante, na semeadura do milho (novembro de 2003).

| Tratamentos | 8,7 cm | 11,6 cm | Média |
|-------------|-------------------------------|---------|--------|
| | ----- m.m ⁻¹ ----- | | |
| A+E | 0,07 a | 0,13 a | 0,10 a |
| A | 0,07 a | 0,12 a | 0,09 a |
| P | 0,06 a | 0,08 b | 0,07 b |
| Média | 0,07 B | 0,11 A | |

*Letras minúsculas diferentes nas colunas e maiúsculas nas linhas representam diferença estatística entre os tratamentos pelo teste de Duncan $P < 0,05$. CV = 7,79% (culturas antecedentes); CV = 13,53% (profundidades).

**A+E = aveia + ervilhaca; A = aveia; P = pousio.

Na semeadura de ambas as culturas (milho e soja), a maior profundidade do sulcador provocou uma maior patinagem, o que corrobora os dados obtidos no primeiro ano do experimento e confirma as expectativas. Herzog (2003) verificou que a patinagem foi cerca de 56% superior na profundidade de atuação da haste sulcadora de fertilizante de 12 cm, do que na profundidade de 6 cm.

Observa-se, ainda, que nos tratamentos com maior quantidade de palha na superfície do solo, a patinagem foi superior a obtida no tratamento com menos palha na superfície (Tabela 27). Fey et al. (2002) encontraram maior patinagem dos rodados tratórios do trator nos tratamentos com maior dose de resíduos na superfície (milho, nabo e aveia), sendo a maior cobertura do solo promovida pela aveia e a menor pelo milho. Resultados que corroboram com os descritos por Herzog (2003) e Gabriel Filho et al. (2002).

Num solo duro e seco, há maior dificuldade de penetração das garras do pneu no solo. Somado a isso, a camada de palha na interface solo-pneu, facilita o deslizamento destes quando em tração (Beutler et al., 2003).

Pelos dados da Tabela 39 pode-se recomendar a lastragem das rodas tratórias para semeadura do milho e da soja na maior profundidade, quando em seqüência à mistura de aveia preta+ervilhaca ou aveia-preta (ASAE, 1989; Borgman et al., 1974).

Tabela 39. Patinagem das rodas motrizes do trator, em função de diferentes tipos de resíduos na superfície do solo e profundidade de atuação do haste sulcadora de fertilizante, na semeadura de soja (novembro de 2003).

| Tratamentos | 8,6 cm | 11,7 cm | Média |
|-------------|-------------------------------|---------|--------|
| | ----- m.m ⁻¹ ----- | | |
| A+E | 0,07 a | 0,12 a | 0,10 a |
| A | 0,07 a | 0,13 a | 0,10 a |
| P | 0,06 a | 0,09 b | 0,07 b |
| Média | 0,07 B | 0,11 A | |

*Letras minúsculas diferentes nas colunas e maiúsculas nas linhas representam diferença estatística entre os tratamentos pelo teste de Duncan $P < 0,05$. CV = 7,79% (culturas antecedentes); CV = 13,53% (profundidades).

**A+E = aveia + ervilhaca; A = aveia; P = pousio.

As Tabelas 38 e 39 mostram que os maiores valores de patinagem foram obtidos nas maiores profundidades de atuação da haste de semeadura, para ambos os tratamentos de número de hastes. Além disso, observa-se que, em relação ao número de hastes, as maiores patinagens foram observadas quando empregadas 5 hastes na semeadora, devido a maior exigência de tração.

4.3.8 Produtividade das culturas

A Tabela 40 apresenta os dados de produtividade de grãos das culturas de milho e soja obtidos nos diferentes tratamentos na safra 2003/04.

Como, a exemplo da safra anterior, houve problemas relacionados à estiagem, desta vez, prolongada, estes afetaram a produtividade das culturas, na área experimental. No entanto, na safra 2003/04, a produtividade de grãos da cultura do milho foi superior a obtida na anterior, o que pode ser explicado pela antecipação da semeadura, que evitou que durante os estádios mais

críticos, a estiagem tivesse efeito na produção. Mesmo assim, esta cultura ficou comprometida durante a fase de enchimento de grãos (Figura 2 e Tabela 25).

Tabela 40. Produtividade do milho e soja em função da cobertura por resíduos vegetais anteriores à semeadura, safra 2003/04, Eldorado do Sul, RS.

| Tratamento | Produtividade (Mg ha ⁻¹) | |
|------------|--------------------------------------|-------|
| | Milho | Soja |
| A+E | 6,9 a | 1,3 a |
| A | 6,3 b | 1,4 a |
| P | 5,4 c | 1,4 a |

* Letras minúsculas diferentes nas colunas indicam diferença estatística pelo teste de Duncan $P < 0,05$. CV = 19,92% (milho); CV = 18,33% (soja).

**A+E = aveia + ervilhaca; A = aveia; P = pousio.

Entre os tratamentos de culturas anteriores (Tabela 40), o com consórcio aveia+ervilhaca apresentou maior produtividade de milho. Isso pode ser explicada pela maior disponibilidade de N ao milho, em relação aos demais tratamentos, que não possuíam leguminosas entre as culturas de inverno. A menor produtividade foi obtida no P, sem cobertura de inverno.

A seqüência de culturas com predominância de gramíneas pode, nos primeiros anos de semeadura direta, ocasionar a imobilização do N e acarretar queda significativa na produtividade do milho (Rizzardi, 1998). Para Bayer et al. (1998), na presença de leguminosas a decomposição dos resíduos é mais rápida comparativamente com gramíneas, podendo ser importante em condições de não revolvimento do solo, onde a menor taxa de decomposição dos resíduos poderia ser limitante em relação ao fornecimento de nutrientes para cultura posterior.

Já na soja (Tabela 40), cultura mais afetada pela estiagem devido ao maior ciclo vegetativo, a produtividade na segunda safra foi inferior à conseguida na primeira do presente experimento e não houve diferenciação entre os tratamentos de cultura anterior.

Os valores da produtividade das culturas do milho e da soja, em função da profundidade de atuação da haste sulcadora de fertilizante, na safra 2003/04, podem ser vistos na Tabela 41. A profundidade de atuação da haste sulcadora de fertilizante não se mostrou eficaz quanto ao aumento da produtividade das culturas do milho e da soja nesta safra.

Por ter sido um ano com elevada precipitação durante os estádios vegetativos da cultura do milho, a não existência de déficits hídricos temporários igualou os tratamentos durante a formação da planta.

Tabela 41. Produtividade das culturas do milho e da soja em função da regulagem da profundidade de atuação da haste sulcadora de fertilizante, Eldorado do Sul – RS, safra 2003/04.

| Atuação (cm) | Produtividade (Mg ha ⁻¹) | |
|-----------------|--------------------------------------|------|
| | Milho | Soja |
| 11,7 | 6,3 | 1,3 |
| 8,6 | 6,1 | 1,4 |

* Os tratamentos não apresentaram diferença estatística pelo teste de Duncan $P < 0,05$.
CV = 9,37% (milho); CV = 16,43% (soja).

4.3.9 Solo descoberto após a semeadura

Na Tabela 42 constam os percentuais de solo descoberto após a semeadura das culturas de milho e de soja, nos diferentes tratamentos testados.

A exemplo do ocorrido na safra anterior (Tabelas 23 e 24), também na safra 2003/04, a superfície exposta de solo após a semeadura da soja foi aproximadamente 50% superior a superfície exposta na semeadura do milho (Tabela 42). Novamente esta diferença explica-se pela maior quantidade de sulcos presentes na cultura da soja em função da distância entre linhas desta cultura (40 cm) em relação a cultura do milho (80 cm).

Uma semeadura que proporcionasse uma boa cobertura no sulco mobilizado evitaria a perda de água do solo e o encrostamento superficial pela chuva (Siqueira et al., 2001).

Tabela 42. Solo descoberto após a operação de semeadura do milho e da soja (novembro 2003).

| Tratamento | Milho | Soja |
|------------|--|------|
| | -----m ² .m ⁻² ----- | |
| A+E | 0,16 | 0,33 |
| A | 0,16 | 0,38 |
| P | 0,17 | 0,38 |

* Os tratamentos não apresentaram diferença estatística pelo teste de Duncan P<0,05.
CV = 18,52% (milho); CV = 29,07% (soja).

**A+E = aveia + ervilhaca; A = aveia; P = pousio.

Na Tabela 43 constam os valores de solo descoberto após a semeadura do milho e da soja, em função da profundidade de atuação da haste sulcadora de fertilizante, safra 2003/04. Novamente a maior quantidade de solo descoberto foi registrada nas maiores profundidades de atuação da haste sulcadora, porém em relação aos valores obtidos na safra anterior, estes são superiores, pois a profundidade dos sulcos também foi maior na safra 2003/04 (Tabela 28).

Tabela 43. Solo descoberto após a operação de semeadura do milho e da soja em função da profundidade de atuação da haste sulcadora de fertilizante na semeadura de milho e soja, novembro de 2003.

| Tratamento | Milho | Soja |
|------------|--|------|
| | -----m ² .m ⁻² ----- | |
| 11,7 | 0,08 | 0,19 |
| 8,6 | 0,09 | 0,17 |

* Os tratamentos não apresentaram diferença estatística pelo teste de Duncan P<0,05.
CV = 33,29% (milho) e 23,85% (soja).

4.3.10 Cobertura do solo por invasoras após a colheita do milho e da soja

Os valores percentuais de cobertura do solo por invasoras após a colheita de milho e de soja estão na Tabela 44.

Novamente a maior cobertura da superfície do solo por plantas invasoras na cultura do milho em relação à cultura da soja está relacionada ao

espaçamento entre sulcos, maior no milho do que na soja. Este resultado é corroborado por Pitelli (1985). Geralmente, à medida que se diminui o espaçamento, o sombreamento do solo ocorre de maneira mais intensa, aumentando a eficiência das medidas empregadas no controle das plantas daninhas.

Os menores valores de cobertura do solo por invasoras após a colheita do milho e da soja foram observados no tratamento com aveia-preta no inverno (Tabela 44). Isso se deve a maior persistência do resíduo dessa cultura à decomposição, mantendo assim, por um maior período de tempo, a cobertura do solo e conseqüentemente formando uma barreira física ao surgimento das invasoras. Da mesma forma, o sombreamento mais intenso propiciado pela cultura da soja em relação à do milho, dificultou o desenvolvimento das invasoras, justificando a menor cobertura por invasoras na mesma.

Tabela 44. Cobertura do solo por invasoras após a colheita do milho e da soja (maio 2004).

| Tratamento | Milho | Soja | Média |
|------------|--|--------|--------|
| | -----m ² .m ⁻² ----- | | |
| A+E | 31 a | 16 ab | 23,5 a |
| A | 25 b | 12 c | 18,5 b |
| CN | 30 a | 18 a | 24 a |
| Média | 28,7 A | 15,3 B | |

*Letras minúsculas diferentes nas colunas representam diferença estatística entre os tratamentos e maiúsculas diferentes representam diferença estatística entre os tratamentos nas linhas pelo teste de Duncan P<0,05. CV = 15,3%.

**A+E = aveia + ervilhaca; A = aveia; P = poisio

4.4 Balanço de energia dos sistemas de produção

As relações entre entradas e saídas, bem com o balanço energético dos sistemas de produção, podem ser utilizadas para auxiliar na escolha do sistema de conversão do campo natural para agricultura produtora de soja ou milho.

4.4.1 Entrada de energia (custos energéticos)

4.4.1.1 Entrada de energia nas culturas de inverno

Os valores de entradas energéticas para as culturas de inverno, antecessoras a do milho e da soja, safra 2002, estão na Tabela 45.

Tabela 45. Custos energéticos, em MJ ha⁻¹ e em valores percentuais das diferentes culturas de cobertura do solo (inverno 2002).

| Origem | A+E | % | A | % | CN | % |
|---------------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|
| Máq. e impl. | 132,49 | 1,62 | 132,49 | 1,39 | 94,85 | 2,71 |
| Combustível | 54,34 | 0,66 | 54,34 | 0,57 | 35,68 | 1,02 |
| Fertilizantes | 4.769,55 | 58,33 | 6.494,53 | 68,20 | 2.009,58 | 57,47 |
| Agrotóxicos | 1.356,83 | 16,59 | 1.356,83 | 14,25 | 1.356,83 | 38,80 |
| Sementes | 1.863,94 | 22,79 | 1.484,74 | 15,59 | 0 | 0 |
| Total | 8.177,15 | 100 | 9.522,93 | 100 | 3.496,94 | 100 |

Observa-se que o tratamento A foi o que consumiu maior energia, ficando com 9.522,93 MJ ha⁻¹. Este maior consumo de energia deveu-se, principalmente, a maior utilização de fertilizantes nitrogenados neste tratamento, que teve aplicação de uréia em cobertura. Já o tratamento CN teve relativamente baixo custo energético pelo menor consumo de fertilizantes e pela ausência do uso de sementes.

A Tabela 45 mostra, ainda, que em todos os sistemas de produção testados, os fertilizantes são os principais responsáveis pelos custos energéticos, seguidos por sementes (quando utilizadas) e agrotóxicos (herbicidas).

Na Tabela 46 constam os valores dos custos energéticos da produção das culturas de cobertura de inverno, safra 2003. Verifica-se, novamente, a grande participação dos fertilizantes nos custos energéticos da produção das culturas de cobertura. A exemplo da safra 2002, sementes (quando utilizadas) e agrotóxicos tiveram grande importância na composição dos custos energéticos obtidos.

Siqueira (1999) obteve custos energéticos de 4.540,52 MJ ha⁻¹ e 6.485,26 MJ ha⁻¹ para produção de nabo e tremoço, respectivamente. Para aveia-preta, o custo encontrado por este autor foi 5.251,53 MJ ha⁻¹.

Os maiores valores encontrados no tratamento A (aveia) na Tabela 46, em relação aos obtidos por Siqueira (1999), podem ser creditados ao maior uso de fertilizantes neste experimento. No trabalho conduzido por aquele autor, os combustíveis responderam pela maior parte da energia consumida.

Tabela 46. Custos energéticos (MJ ha⁻¹) e em valores percentuais das diferentes culturas de cobertura do solo (inverno 2003).

| Origem | A+E | % | A | % | CN | % |
|---------------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
| Máq. e impl. | 69,41 | 0,90 | 69,41 | 0,76 | 30,97 | 1,49 |
| Combustível | 29,82 | 0,38 | 29,82 | 0,33 | 11,14 | 0,54 |
| Fertilizantes | 4435,15 | 57,19 | 6160,53 | 67,69 | 0 | 0,00 |
| Agrotóxicos | 1356,83 | 17,50 | 1356,83 | 14,91 | 2035,24 | 97,97 |
| Sementes | 1863,94 | 24,03 | 1484,74 | 16,31 | 0 | 0,00 |
| Total | 7755,20 | 100 | 9101,30 | 100 | 2077,40 | 100 |

4.4.1.2 Entrada de energia nas culturas de verão

Os valores de entradas energéticas para as culturas do milho e da soja, safras 2002/03 e 2003/04, constam nas Tabelas 47 e 48, respectivamente.

Tabela 47. Custos energéticos, em MJ ha⁻¹ e em valores percentuais das culturas do milho e da soja (safra 2002/03).

| Origem | Milho | % | Soja | % |
|---------------|----------|-------|---------|-------|
| Máq. e impl. | 248,5 | 2,31 | 248,5 | 5,07 |
| Combustível | 26,4 | 0,25 | 23,4 | 0,48 |
| Fertilizantes | 8.935,5 | 82,96 | 2.380,5 | 48,56 |
| Agrotóxicos | 1.252,3 | 11,63 | 1.074,1 | 21,91 |
| Sementes | 308,5 | 2,86 | 1.175,9 | 23,99 |
| Total | 10.771,1 | 100 | 4.902,5 | 100 |

Tabela 48. Custos energéticos, em MJ ha⁻¹ e em valores percentuais das culturas do milho e da soja (safra 2003/2004).

| Origem | Milho | % | Soja | % |
|---------------|----------|-------|---------|-------|
| Máq. e impl. | 248,5 | 2,31 | 248,5 | 5,07 |
| Combustível | 26,4 | 0,25 | 23,4 | 0,48 |
| Fertilizantes | 8.935,5 | 82,96 | 2.380,5 | 48,56 |
| Agrotóxicos | 1.252,3 | 11,63 | 1.074,1 | 21,91 |
| Sementes | 308,5 | 2,86 | 1.175,9 | 23,99 |
| Total | 10.771,1 | 100 | 4.902,5 | 100 |

Novamente observa-se que os fertilizantes foram os principais componentes na formação do custo energético para as culturas do milho e da soja. Comparando-se as culturas do milho e da soja, constata-se que, na soja, os fertilizantes respondem por 48,56% dos custos energéticos, enquanto que para o milho, estes responderam por 82,96%. Os maiores valores obtidos para a cultura do milho são devido à utilização da uréia como fonte nitrogenada para a adubação de cobertura para a mesma.

4.4.1.3 Entrada total de energia dos sistemas de produção

Os valores de entradas energéticas para a cultura do milho e da soja nas safras 2002/03 e 2003/04 constam nas Tabelas 49 e 50, respectivamente.

Tabela 49. Custos energéticos, em MJ ha⁻¹ e em valores percentuais nas diferentes culturas de cobertura de inverno antecessoras ao milho, safra 2002/03 e 2003/04.

| Origem | A+E | % | A | % | CN | % |
|---------------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|
| Máq. e impl. | 458,2 | 1,69 | 450,2 | 1,53 | 374,1 | 2,29 |
| Combustível | 110,6 | 0,41 | 110,6 | 0,37 | 73,2 | 0,45 |
| Fertilizantes | 18.140,2 | 67,93 | 21.590,5 | 73,22 | 10.945,0 | 66,96 |
| Agrotóxicos | 3.965,9 | 14,85 | 3.965,9 | 13,45 | 4.644,4 | 28,42 |
| Sementes | 4.036,4 | 15,12 | 3.277,9 | 11,12 | 308,5 | 1,89 |
| Total | 26.703,5 | 100 | 29.485,3 | 100 | 16.344,8 | 100 |

A observação da Tabela 49, juntamente com a Figura 3, permite visualizar que os maiores custos energéticos na cultura do milho estão no

tratamento em que esta cultura vem após a cultura da aveia. Os elevados valores estão relacionados ao uso da uréia como fonte de fertilizante nitrogenado, uma vez que na aveia-preta temos uma aplicação a mais de N em cobertura.

Além dos fertilizantes, os agrotóxicos, no CN, respondem por 28,42% das entradas de energia, e as sementes também respondem por parte significativa dos custos energéticos na cultura do milho sobre aveia+ervilhaca e aveia.

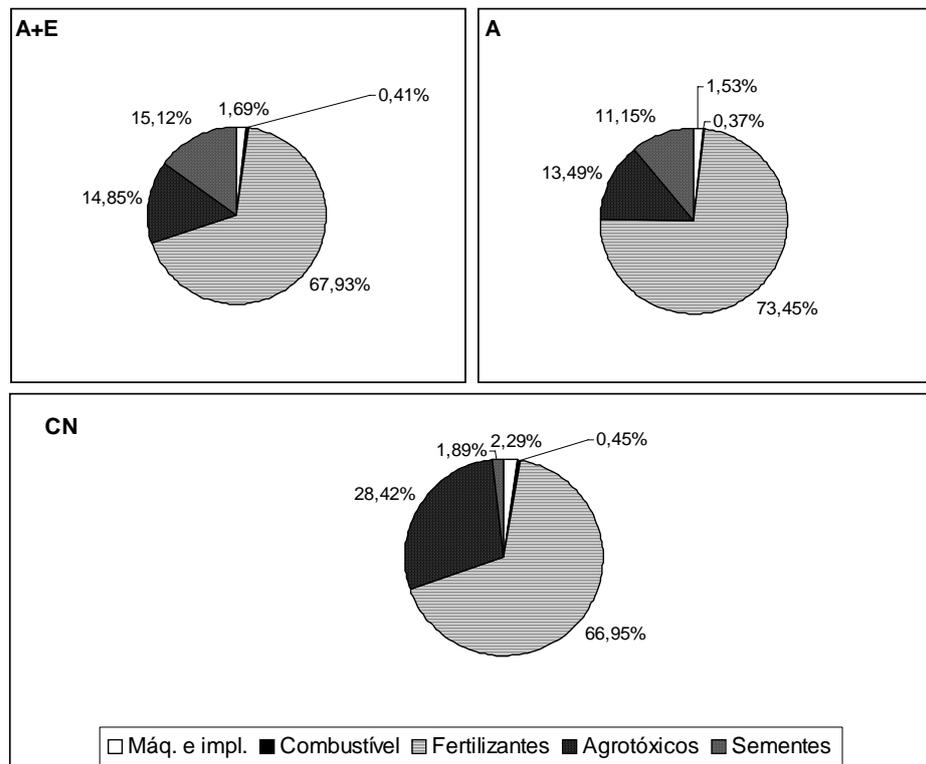


Figura 3. Distribuição, valores percentuais, dos custos energéticos para produção do milho nos três tratamentos antecessores utilizados, safras 2002/03 e 2003/04.

Também na cultura da soja os fertilizantes são os principais responsáveis pelos custos energéticos (Tabela 50 e Figura 4). Novamente, após os fertilizantes, os agrotóxicos e as sementes são responsáveis por grande parte dos custos energéticos. No caso das sementes, o tratamento CN/P, por não utilizar culturas no inverno, teve o menor custo energético neste quesito.

Tabela 50. Custos energéticos, em MJ ha⁻¹ e em valores percentuais nas diferentes culturas de cobertura de inverno antecessoras a soja, safra 2002/03 e 2003/04.

| Origem | A+E | % | A | % | CN/P | % |
|---------------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|
| Máq. e impl. | 450,4 | 2,16 | 450,4 | 1,91 | 374,3 | 3,57 |
| Combustível | 107,6 | 0,52 | 107,6 | 0,46 | 70,2 | 0,67 |
| Fertilizantes | 11.585,2 | 55,61 | 15.035,6 | 63,67 | 4.390,1 | 41,91 |
| Agrotóxicos | 3.787,7 | 18,18 | 3.787,7 | 16,04 | 4.466,2 | 42,63 |
| Sementes | 4.903,8 | 23,54 | 4.145,4 | 17,55 | 1.175,9 | 11,23 |
| Total | 20.834,8 | 100 | 23.616,7 | 100 | 10.476,1 | 100 |

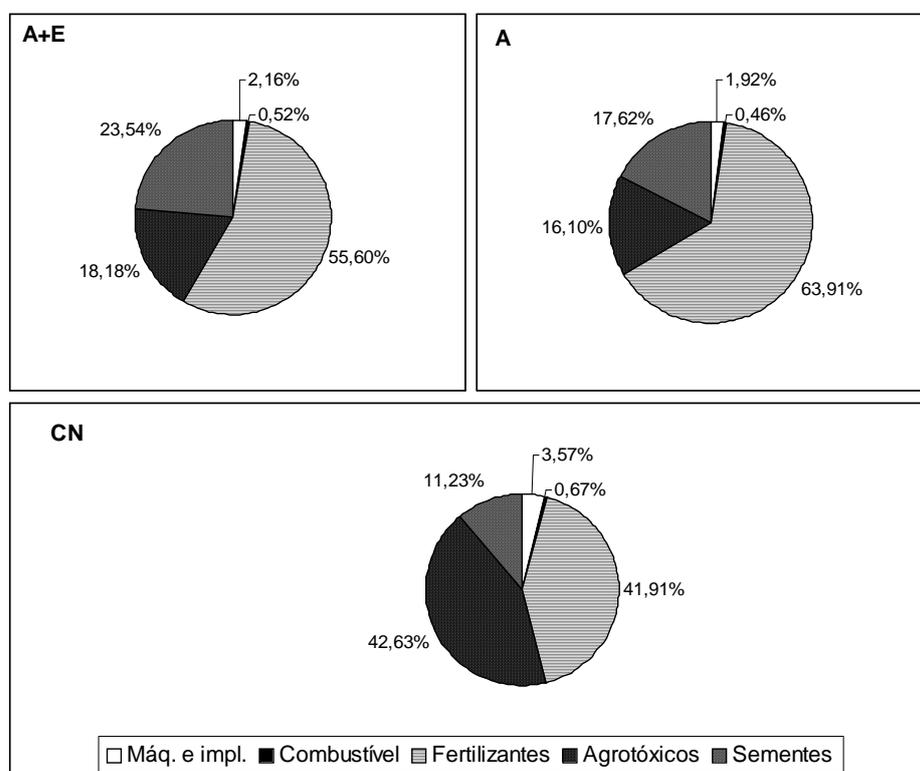


Figura 4. Distribuição, valores percentuais, dos custos energéticos para produção da soja nos três tratamentos antecessores utilizados, safras 2002/03 e 2003/04.

4.4.2 Saídas de energia (ganhos energéticos)

Neste trabalho, os ganhos energéticos são representados pela produção de massa seca da parte aérea, das culturas de cobertura e das culturas do

milho e da soja, e ainda, pela produção de grãos de milho e de soja, nas safras 2002/03 e 2003/04.

Na Tabela 51 constam os valores de conteúdo energético remanescente sobre o solo, em função dos resíduos culturais das culturas de cobertura, antes da semeadura do milho e da soja, nos anos de 2002 e 2003.

Tabela 51. Conteúdo energético (MJ ha^{-1}) dos resíduos culturais das culturas antecessoras a do milho e da soja, anos 2002 e 2003.

| | 2002 | 2003 |
|------|---------|---------|
| A+E | 112.398 | 144.536 |
| A | 104.834 | 135.014 |
| CN/P | 65.814 | 65.814 |

No caso da semeadura direta, permanece sobre o solo, na forma de cobertura morta, uma grande quantidade de energia. Os valores encontrados para o tratamento A são superiores aos encontrados por Siqueira (1999) que obteve uma produção energética média de $88.009 \text{ MJ ha}^{-1}$ para aveia preta usando arado de aiveca, arado de disco e escarificador no preparo do solo.

Embora esta energia não seja extraída diretamente, ela é potencialmente utilizável, uma vez que em sistemas adaptados de integração lavoura-pecuária, poderia ser usada como alimento animal.

Ainda, a reciclagem e/ou adição de nutrientes ao solo, podem diminuir significativamente os custos energéticos pela substituição de parte da adubação química ou mineral. Autores como Ignaczak et al. (1998) e Santos et al. (1998) consideraram, como rendimento energético da aveia-preta e de ervilhaca, a contribuição ao solo de 90 kg ha^{-1} de N.

Hetz & Melo (1997) afirmam que, em sistemas conservacionistas, ao aumento dos indicadores de eficiência energética deve ser agregada a alta rentabilidade obtida (pelo aumento da produção), a melhoria física e química do solo e aumento da sua resistência ao processo erosivo.

Na Tabela 52 constam os valores do conteúdo energético dos resíduos culturais (que permaneceram no solo) e grãos no sistema de produção de milho, nas diferentes coberturas de inverno, nos dois anos agrícolas do experimento. Verifica-se que no primeiro ano a maior saída de energia, na forma de grãos de milho ocorreu no tratamento CN. Já na segunda safra, teve

o pior desempenho entre os tratamentos testados. Ainda, observa-se (Tabela 52) que nos tratamentos com maior conteúdo energético sobre o solo (Tabela 51), ocorreram as maiores produtividades de milho, reforçando a afirmação anterior, da contribuição energética dos resíduos culturais ao solo.

Tabela 52. Conteúdo energético (MJ ha^{-1}) dos resíduos culturais e grãos no sistema de produção para milho, nas safras 2002/03 e 2003/04.

| Trat. | 2002/03 | | | 2003/04 | | |
|-------|----------|--------|---------|----------|---------|---------|
| | Resíduos | Grãos | Total | Resíduos | Grãos | Total |
| A+E | 69.595 | 67.867 | 137.461 | 99.421 | 106.427 | 205.848 |
| A | 68.055 | 64.782 | 132.836 | 91.160 | 97.173 | 188.332 |
| CN/P | 70.295 | 74.034 | 144.331 | 65.814 | 83.291 | 171.230 |

A exemplo das culturas de cobertura, os resíduos culturais das culturas do milho (Tabela 52) e da soja (Tabela 53) permaneceram sobre o solo.

Tabela 53. Conteúdo energético (MJ ha^{-1}) dos resíduos culturais e grãos no sistema de produção de soja, nos anos 2002/03 e 2003/04.

| Tratam. | 2002/03 | | | 2003/04 | | |
|---------|---------|----------|--------|---------|----------|--------|
| | Grãos | Resíduos | Total | Grãos | Resíduos | Total |
| A+E | 29.695 | 13.944 | 43.638 | 24.127 | 15.033 | 39.159 |
| A | 38.974 | 25.703 | 64.677 | 25.983 | 22.828 | 48.811 |
| CN/P | 40.830 | 26.879 | 67.709 | 25.983 | 22.642 | 48.625 |

Observa-se que, na cultura da soja, os maiores conteúdos energéticos foram encontrados nos tratamentos CN (safra 2002/03) e A e P (safra 2003/04).

O menor conteúdo energético do tratamento A+E/soja pode ser creditado ao efeito da leguminosa (ervilhaca) presente no tratamento de inverno, que prejudicou a infecção das raízes de soja pelo *Rhizóbium* apropriado e desta forma acabou interferindo no desenvolvimento da planta e, conseqüentemente, na produção de grãos e matéria seca.

4.4.3 Balanço de energia e indicadores da eficiência energética

Nas Tabelas 54 e 55 estão apresentadas as variáveis de eficiência energética para a cultura do milho nas safras 2002/03 e 2003/04.

A observação da Tabela 54 permite perceber que a saída de energia pela massa seca total produzida é superior no tratamento A+E, porém quando se trata de grãos, este tratamento foi superado pelo tratamento C/N.

Na safra 2002/03 (Tabela 54) foi necessário 1,8 MJ para produção de 1 kg de massa seca no tratamento A; 1,6 para o tratamento A+E e 0,9 no C/N.

Tabela 54. Variáveis de eficiência energética (MJ ha^{-1}) para produção e manejo da cultura do milho, safra 2002/03.

| Indicador | A+E | A | CN |
|---|---------|---------|---------|
| Saída de energia (massa total) | 249.859 | 237.671 | 210.145 |
| Saída de energia (grãos) | 67.867 | 64.782 | 74.034 |
| Entrada de energia (grãos) | 18.948 | 20.294 | 12.849 |
| Ganho líquido de energia (massa total) | 230.911 | 217.377 | 197.297 |
| Ganho líquido de energia (grãos) | 48.918 | 44.488 | 61.186 |
| Energia para produzir 1 kg de massa total | 1,6 | 1,8 | 0,9 |
| Energia para produzir 1 kg de grãos | 4,3 | 4,6 | 2,7 |
| Relação entrada/saída (massa total) | 13,2 | 11,7 | 16,4 |
| Relação entrada/saída (grãos) | 3,6 | 3,2 | 5,8 |

Observando-se os dados da Tabela 55, nota-se que na safra 2003/04 o tratamento A+E foi responsável pelas maiores saídas, tanto de massa total, quanto de grãos. Da mesma forma que na safra anterior (Tabela 54), as maiores saídas energéticas ocorreram acompanhadas das menores necessidades energéticas para produção de apenas 1 kg de grãos. Siqueira (1999) trabalhando com três espécies de plantas de cobertura, não obteve o mesmo resultado. Em seu trabalho, enquanto a aveia teve uma maior saída, o nabo forrageiro teve a menor necessidade energética para produção de 1 kg de massa seca da parte aérea.

Os valores de energia necessária para produção de 1 kg de massa seca total, constantes na Tabela 54, ficaram próximos aos obtidos por Knapp (1980)

na produção de milho silagem. Porém, o valor de 2,696 kJ kg⁻¹, encontrado por este autor é cerca de três vezes superior ao da Tabela 55.

Já para a produção de grãos de milho, os valores encontrados neste trabalho são semelhantes aos encontrados por Hetz & Borquez (1987).

Tabela 55. Variáveis de eficiência energética (MJ ha⁻¹) para produção e manejo da cultura do milho, safra 2003/04.

| Indicador | A+E | A | P |
|---|---------|---------|--------|
| Saída de energia (massa total) | 350.384 | 323.346 | 82.938 |
| Saída de energia (grãos) | 106.427 | 97.173 | 8.330 |
| Entrada de energia | 18.526 | 19.872 | 12.849 |
| Ganho líquido de energia (massa total) | 331.858 | 303.474 | 70.089 |
| Ganho líquido de energia (grãos) | 87.901 | 77.300 | 70.442 |
| Energia para produzir 1 kg de massa total | 0,8 | 0,9 | 0,8 |
| Energia para produzir 1 kg de grãos | 2,7 | 2,9 | 1,9 |
| Relação entrada/saída (massa total) | 18,9 | 16,3 | 6,5 |
| Relação entrada/saída (grãos) | 5,7 | 4,9 | 6,5 |

As Tabelas 56 e 57 apresentam as variáveis energéticas para a produção de soja nas safras 2002/03 e 2003/04, respectivamente.

Tabela 56. Variáveis de eficiência energética (MJ ha⁻¹) no sistema de produção da cultura da soja, safra 2002/03.

| Indicador | A+E | A | CN |
|---|---------|---------|--------|
| Saída de energia (massa total) | 156.036 | 169.512 | 133523 |
| Saída de energia (grãos) | 29.695 | 38.974 | 40830 |
| Entrada de energia | 13.080 | 14.425 | 40830 |
| Ganho líquido de energia (massa total) | 14.2957 | 155.086 | 124624 |
| Ganho líquido de energia (grãos) | 16.615 | 24.549 | 31931 |
| Energia para produzir 1 kg de massa total | 1,4 | 1,4 | 1,0 |
| Energia para produzir 1 kg de grãos | 8,2 | 6,9 | 4,0 |
| Relação entrada/saída (massa total) | 11,9 | 11,8 | 15,0 |
| Relação entrada/saída (grãos) | 2,3 | 2,7 | 4,6 |

Diferentemente do que aconteceu para a cultura do milho, para a soja nas duas safras avaliadas, o tratamento A+E foi o que apresentou o pior resultado na produção de energia (Tabelas 56 e 57).

A exemplo do que ocorreu para o milho (Tabelas 54 e 55), a maior produtividade de soja foi verificada onde a energia necessária para produção de 1 kg de grãos foi menor (Tabelas 56 e 57).

Para a soja, a energia necessária para produção de 1 kg de massa seca total, variou de 1,0 a 1,4 MJ (Tabelas 56 e 57) neste trabalho, sendo estes valores próximos aos encontrados por Siqueira (1999) para o tremoço azul e a aveia preta, sendo superiores, porém semelhantes ao valor de 0,893 MJ encontrado por este autor para a cultura do nabo forrageiro.

Scott & Krummel (1980) encontraram valores para produção da mesma quantidade de soja em grãos de 4.279 kJ kg^{-1} , valores estes superiores aos encontrados neste trabalho.

Tabela 57. Variáveis de eficiência energética (MJ ha^{-1}) no sistema de produção da cultura da soja, safra 2003/04.

| Indicador | A+E | A | P |
|---|---------|---------|---------|
| Saída de energia (massa total) | 183.695 | 183.825 | 114.439 |
| Saída de energia (grãos) | 24.127 | 25.983 | 25.983 |
| Entrada de energia | 12.658 | 14.004 | 6.980 |
| Ganho líquido de energia (massa total) | 171.038 | 169.821 | 107.459 |
| Ganho líquido de energia (grãos) | 11.469 | 11.979 | 19.003 |
| Energia para produzir 1 kg de massa total | 1,2 | 1,3 | 1,0 |
| Energia para produzir 1 kg de grãos | 9,7 | 10,0 | 5,7 |
| Relação entrada/saída (massa total) | 14,5 | 13,1 | 16,4 |
| Relação entrada/saída (grãos) | 1,9 | 1,9 | 3,7 |

4.5 Balanço econômico dos sistemas de produção

Nas Tabelas 58 e 59 constam os valores do custo de produção do milho para as safras 2002/03 e 2003/04, respectivamente. É possível observar que, dentro de um mesmo tratamento, os custos totais diminuíram da primeira para a segunda safra estudada, em função da ausência de alguns custos

operacionais, como a operação e os insumos empregados na operação da calagem.

Na primeira safra estudada (2002/03 – Tabela 58) em dois dos três tratamentos estudados, o resultado final apresentou prejuízo. Mais do que o alto custo da lavoura por unidade de área, as baixas produtividades em função do déficit hídrico em estádios críticos da cultura, foi responsável pelo resultado financeiro negativo.

Tabela 58. Custos de produção e resultados econômicos para o milho nos diferentes tratamentos, safra 2002/03

| Descrição | A+E | A | CN |
|--------------------------------|----------|----------|----------|
| Operacional | 321,91 | 321,91 | 254,53 |
| Insumos | 918,29 | 903,09 | 856,69 |
| Administração | 67,76 | 67,76 | 67,76 |
| Pós-colheita | 48,17 | 48,17 | 48,17 |
| Custo total | 1.356,10 | 1.340,90 | 1.227,20 |
| Receita (bruta) | 1.247,40 | 1.190,70 | 1.360,80 |
| Receita (líquida) | -108,70 | -150,20 | 133,65 |
| Custo kg ⁻¹ de grão | 0,31 | 0,32 | 0,26 |

Assim como na formação dos custos energéticos, os insumos representam a maior parte dos custos financeiros para a cultura do milho, em função, principalmente dos altos preços dos fertilizantes e agrotóxicos.

O menor custo unitário para produção de 1 kg de milho foi apresentado pelo tratamento CN (Tabela 58). Isto significa que, neste tratamento, o preço mínimo a ser recebido, sem que haja prejuízos deveria ser R\$15,60 por saca de 60 kg. No tratamento com a maior relação, este preço sobe para R\$19,20.

Na Tabela 59, com os dados da safra 2003/04, observa-se que a produtividade aumentou em todos os tratamentos, mesmo com estiagem havida naquele ano agrícola. A semeadura antecipada permitiu minimizar os efeitos da estiagem sobre o milho naquela safra.

Com a redução na quantidade de alguns insumos utilizada e o aumento da produtividade de grãos, caíram também os valores mínimos para a remuneração da cultura, ficando em aproximadamente R\$ 10,80 por saca (R\$ 0,18 kg⁻¹). Nesta safra, a maior produtividade de milho obtida no tratamento

A+E, pode estar relacionado ao fornecimento de N na forma orgânica pelos resíduos da soja da safra anterior e, mais intensamente, pela ervilhaca, como cultura antecedente.

Tabela 59. Custos de produção e resultados econômicos para o milho nos diferentes tratamentos, safra 2003/04.

| Descrição | A+E | A | P |
|--------------------------------|----------|----------|---------|
| Operacional | 314,2 | 314,20 | 246,82 |
| Insumos | 716,29 | 701,09 | 570,69 |
| Administração | 67,76 | 67,76 | 67,76 |
| Pós-colheita | 48,17 | 48,17 | 48,17 |
| Custo total | 1.146,40 | 1.131,20 | 933,44 |
| Receita (bruta) | 1.956,20 | 1.786,10 | 1.332,5 |
| Receita (líquida) | 809,73 | 654,83 | 399,01 |
| Custo kg ⁻¹ de grão | 0,17 | 0,18 | 0,17 |

Nas Tabelas 60 e 61 constam os valores do custo de produção da soja para as safras 2002/03 e 2003/04, respectivamente. Para a cultura da soja, o tratamento A+E apresentou o maior prejuízo nos dois anos do experimento, em função da dificuldade de infecção da cultura pelo *Rhizóbium* específico (presença de leguminosa como cultura antecedente).

A maior lucratividade do tratamento C/N (Tabelas 60 e 61) deveu-se ao menor custo operacional de máquinas e de emprego de insumos. Por outro lado, a exemplo do que aconteceu com o milho (Tabelas 58 e 59), a falta de cobertura do solo neste tratamento no período de outono-inverno, já começa a apresentar sinais de menor produtividade.

Na safra 2003/04, a exemplo do que aconteceu em todo o estado do Rio Grande do Sul, esta cultura foi bastante afetada pela falta de água e, por isso, qualquer análise mais aprofundada poderia comprometer os resultados.

Em relação aos custos calculados e publicados pela FECOAGRO (2004), os custos apresentados neste trabalho para as culturas do milho e da soja, foram aproximadamente 30 e 20% inferiores, respectivamente, devido a eliminação de alguns custos fixos, bem como os referentes a financiamentos e seguros (Proagro).

Tabela 60. Custos de produção e resultados econômicos para a soja nos diferentes tratamentos, safra 2002/03.

| Descrição | A+E | A | CN |
|--------------------------------|----------|----------|----------|
| Operacional | 332,44 | 332,44 | 265,06 |
| Insumos | 721,41 | 706,21 | 659,81 |
| Administração | 57,20 | 57,20 | 57,20 |
| Pós-colheita | 21,06 | 21,06 | 21,06 |
| Custo total | 1.132,10 | 1.116,91 | 1.003,13 |
| Receita (bruta) | 844,80 | 1.108,80 | 1.161,60 |
| Receita (líquida) | -287,30 | -8,11 | 158,47 |
| Custo kg ⁻¹ de grão | 0,71 | 0,53 | 0,46 |

Tabela 61. Custos de produção e resultados econômicos para a soja nos diferentes tratamentos, safra 2003/04

| Descrição | A+E | A | CN |
|--------------------------------|--------|--------|--------|
| Operacional | 324,73 | 324,73 | 257,35 |
| Insumos | 519,41 | 504,21 | 373,81 |
| Administração | 57,20 | 57,20 | 57,20 |
| Pós-colheita | 21,06 | 21,06 | 21,06 |
| Custo total | 922,40 | 907,20 | 709,42 |
| Receita (bruta) | 686,40 | 739,20 | 739,20 |
| Receita (líquida) | -236 | -168 | 29,78 |
| Custo kg ⁻¹ de grão | 0,71 | 0,65 | 0,51 |

5. CONCLUSÕES

- 1 - O campo nativo apresentou menor massa seca de resíduos.
- 2 - Os diferentes resíduos afetaram a patinagem, na segunda safra, que também foi afetada pelo número de linhas e profundidade de semeadura.
- 3 - A força de tração não foi afetada pela cultura anterior, porém o foi pela profundidade do sulcador.
- 4 - A área superficial de solo exposta na semeadura foi cerca de 50% maior da soja do que no milho.
- 5 - A produtividade do milho foi maior na segunda safra sendo superior nos tratamentos com maior quantidade de resíduos de culturas anteriores e na soja o pior tratamento foi o A+E.
- 6 - Os fertilizantes representam mais de 65% dos custos energéticos para produção do milho; na soja estes valores baixam para 55% nos tratamentos A+E e A e 42% no CN/P.
- 7 - As maiores saídas energéticas foram observadas nos tratamentos com maior quantidade de resíduos culturais para o milho, para soja o tratamento A+E teve o pior resultado.
- 8 - Os insumos juntamente com as operações representam a maior parte dos custos financeiros.
- 9 - Nas duas safras testadas, apenas o tratamento CN/P mostrou-se lucrativo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASE, J. K.; PIKUL, J. L. Compaction and bearing strength. In: MOLDENHAUER, W. C.; BLACK, A. L. *Crop residue management to reduce erosion and improve soil quality in Northern Great Plains*. Washington: United States Department of Agriculture, 1994. p.34-5.
- 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, n.225-231, 1982.
- AITA, C.; CERETTA, C.A.; THOMAS, A.L.; PAVINATO, A.; BAYER, C. Espécies de inverno como fonte de Nitrogênio no sistema cultivo mínimo e feijão em plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, SP, n. 18, 1994, p. 101 – 108.
- AITA, C. Dinâmica do nitrogênio no solo durante a decomposição de plantas de cobertura: efeito sobre a disponibilidade de nitrogênio para a cultura em sucessão. In: FRIES, M. R.; DALMOLIN, R. S. D. *Atualização em recomendação de adubação e calagem: ênfase em plantio direto*. Santa Maria, RS : Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria, 1997. p. 76-111.
- ALVES, A. G. C.; COGO, N. P.; LEVIEN, R. Relações da erosão do solo com a persistência da cobertura vegetal morta. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.19, p.127-32, 1998.
- AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; FERNANDES, S. B. V. Leguminosas e adubação mineral como fontes de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 24, p. 179 – 189, 2000.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Terminology and definitions for soil tillage and soil-tool relationships. In: _____. *ASAE standards 1996: standards engineering practices data*. San Joseph, 1996. p.113 – 115. (ASAE EP291.2 DEC93).

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Agricultural machinery management. In: _____. *ASAE standards: standards engineering practices data*. San Joseph, 1999. p.359 – 366. (ASAE D497.4 JAN98).

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS – ASAE. s.209.5., St. Joseph, 1989. p. 44-48.

BAEUMER, K.; BAKERMANS, W. A.. P. Zero Tillage. *Advances in Agronomy*, San Diego, v.25, n. 77-123, 1973.

BALASTREIRE, L.A. *Máquinas Agrícolas*. São Paulo : Manole, 1987. 310 p.

BALBUENA, R.H.; MENDEVIL, G.O.; RESSIA, J.M. Cobertura del suelo y características de labor de escarificadores con cuchillas circulares y rejas convencionales. In: BALBUENA, R.H.; BENEZ, S.H.; JORAJURIA, D. *Ingeniería rural y mecanización agraria en el ámbito latinoamericano*. La Plata: Editorial de la U.N.L.P., 1998a. p. 137 – 142.

BALBUENA, R.H.; MENDEVIL, G.O.; RESSIA, J.M. Cobertura del suelo y características de labor de escarificadores con cuchillas circulares y rejas de diseño alado. In: BALBUENA, R.H.; BENEZ, S.H.; JORAJURIA, D. *Ingeniería rural y mecanización agraria en el ámbito Latinoamericano*. La Plata: Editorial de la U.N.L.P., 1998b. p. 105 – 110.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistema de cultura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, SP, n 21, 1997, p. 105 – 112.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Sistemas de manejo do solo e seus efeitos sobre o rendimento de milho. *Ciência Rural*, Santa Maria, RS, v. 28, n.1, 1998, p. 23 – 28.

- BEN, J.R.; PÖTTKER, D.; FONTANELI, R.S.; WIETHÖLTER, S. Calagem e Adubação de Campos Naturais no Sistema Plantio Direto In. NUERNBERG, N.J. *Conceitos e fundamentos do sistema Plantio Direto*. [S.I.] : Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Núcleo Regional Sul, 1998. p. 93 – 111.
- BERGAMASCHI, H.; GUADAGNIN, M.R. *Agroclima da estação experimental agrônômica*. Porto Alegre: Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia da UFRGS, 1990. 91p.
- BERTOL, I.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Cobertura morta e métodos de preparo do solo na erosão hídrica em solo com crosta superficial. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, SP, v.13, 1989, p. 373 – 379.
- BERTOL, I.; COGO, N.P.; CARVALHO, F.L.C. Relações da erosão hídrica com métodos de preparo do solo, na ausência e presença de cobertura vegetal por resíduo cultural de trigo. CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 6., 1986; ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 6., 1986, Campo Grande. *Resumos...* Campinas : Fundação Cargill, 1986. p. 11.
- BERTOL, I.; CIPRIANDI, O.; KURTZ, C.; BAPTISTA, A.S. Persistência dos resíduos culturais de aveia e milho sobre a superfície do solo em semeadura direta. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, Campinas, v. 22, 1998b, p. 705 – 712.
- BERTOL, I.; GOMES, K.E.; DENARDIN, R.B.N.; MACHADO, L.A.Z.; MARASCHIN, G.E. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem numa pastagem natural. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 33, 1998a , p.779-786.
- BEUTLER, J. F. *Erosão hídrica num LATOSSOLO VERMELHO Aluminoférrico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo*. Lages : UDESC, 2000. 105 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2000.

- BEUTLER, J.F.; LEVIEN, R.; TREIN, C.R.; HERZOG, R.L. da S. Patinagem do trator em sistemas de preparo do solo e semeadura. In. CONGRESSO ARGENTINO DE INGENIARIA AGRICOLA, 2003, Balcarce. *Resumenes...* Balcarce, Argentina: INTA, 2003. CD- Rom.
- BOLLER, W.; KLEIN, V. A.; DALLMEYER, A. U.; SCHONS, P. Força de tração e potência para operar com uma semeadora-adubadora de precisão em solo sob preparo reduzido. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 20, 1991, Londrina. *Anais...*Londrina, PR, 1992.
- BURT, E.C.; REEVES, D.W.; RAPER, R.L. Energy utilization as affected by traffic in a conventional and conservation tillage system. *Transactions ASAE*, St.Joseph, v.37, 1994. p. 759 – 762.
- BONDAREV, A.G. Regulation of Physical properties of soil in intensive agriculture. *Scripta Técnica*, Moscou, 1989. [Translated from: *Pochvovedeniye*, n. 9, 1988.]
- BONDAREV, A.G. Problem of soil compaction by agricultural machines and ways of resolving it. *Scripta Técnica*, Moscou, 1991. [Translated from: *Pochvovedeniye*,n. 5, 1990]
- .
- BORGMAN, D.E.; HAINLINE, E., LONG, M.E. *Fundamental of machine operations*. Moline: John Deere Service, 1974. 304 p.
- 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, 1973. 431 p. (Boletim técnico, 30).
- BRIDGES, T.C.; SMITH, E.M. A method for determining the total energy input for agricultural practices. *Transactions ASAE*, St.Joseph, v.57, 1979, p.121 – 124.
- CARTER, M.R. Qualiti critical limits and standarization. In: LAL, R. (ed). *Encyclopedia of soil Science*. New York : [s.n.], 2002. p. 1062 – 1065.

CASÃO JUNIOR, R.; HENKLAIN, J.C.; LADEIRA, A. S.; MORENO, E.C. Efeito de diferentes implementos na resistência a tração e qualidade de preparo do solo (Latossolo Roxo). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 20., 1991, Londrina. *Anais...* Londrina: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola : Instituto Agrônômico do Paraná, 1992b. p. 847 – 868.

CASÃO JUNIOR, R.; ARAUJO, A.G.; RALISCH, S.; SILVA, A.L.; LADEIRA, A. S.; SILVA, J.C.; MACHADO, P.; ROSSETO, R. *Avaliação do desempenho da semeadora adubadora Magnum 2850PD no basalto paranaense*. [Londrina] : IAPAR, 1998. p.1-47. (Circular IAPAR, 105).

CASÃO JUNIOR, R.; HENKLAIN, J.C.; YAMAOKA, R.S.; LADEIRA, A. S.; TAME, S. Efeito de diferentes sistemas de preparo do solo e coberturas vegetais com uso da tração animal e manual em Terra Roxa Estruturada associada a Litólico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 20., 1991, Londrina. *Anais...* Londrina: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola : Instituto Agrônômico do Paraná, 1992a. p. 830 – 846.

CASÃO JUNIOR, R.; YAMAOKA, R.S. Desenvolvimento de semeadora-adubadora direta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 19., 1990, Piracicaba. *Anais...* Piracicaba: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1990. p. 766-777.

CASÃO JUNIOR, R.; SIQUEIRA, R.; ARAUJO, A.G.; RALISCH, S. *Dinâmica de Semeadoras-adubadoras em Primeiro de Maio, PR*. Londrina, PR : Instituto Agrônômico do Paraná, 2000. 14 p.

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, 2002. CD-ROM

COGO, N.P. *Effect of residue cover, tillage induced roughness, and slope length on erosion and related parameters*. West Lafayette, Indiana : Purdue University, 1981. 346f. Tese (Doutorado) – Purdue University, West Lafayette, Indiana, 1981.

- COLLINS, B.A.; FOWLER, D.B. Effects of soil characteristics, seedings depth, operating speed and opener design on draft force during direct seeding. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v.39, 1996. p. 199 – 211.
- CORSINI, P.C. Impact of soil degradation on crop production in Brazil. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v.20, p. 353 – 363, 1991.
- DENARDIN, J.E.; KOCHHANN, R.A. Requisitos para a implantação e a manutenção do sistema de plantio direto. In: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Trigo. *Plantio direto no Brasil*. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1993. p.19-27.
- DERPSCH, R.; CALEGARI, A. *Plantas para adubação verde de inverno*. [Londrina] : IAPAR, 1992. 78p. (Circular, 73)
- 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; [Londrina] : Instituto Agrônômico do Paraná, 1991. 272p.
- 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.
- DOUGLAS JUNIOR, C.L.; ALLMARAS, R.R.; RASMUSSEN, P.E.; RAMIG, R.E.; ROAGER JUNIOR, N.C. Wheat straw composition and placement effects on decomposition in dryland agriculture of the Pacific Northwest. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, v. 86, 1980, p. 833 – 837.
- EMATER/RS. *Manejo ecológico do solo com plantas de cobertura*. Porto Alegre : EMATER/RS, 2001. 4 f. Folheto Informativo.
- EMBRAPA. *Manual de métodos e análise do solo*. 2.ed. Rio de Janeiro : EMBRAPA Solos. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997.

ERENSTEIN, O. Review: Crop residue mulching in tropical and semi-tropical countries: An evaluation of residue availability and other technological implications. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v.67, 2002, 115-133.

FECOAGRO. [Informações]. *Custo de Produção*, Porto Alegre, v. 43, estudo n.63, out. 2004, 35p.

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. CD-ROM.

FORNSTRON, K.J.; BECKER, C.F. Comparison of energy requirements and machinery performance for four summer fallow methods. *Transactions ASAE*, St. Joseph, v.20, 1977, p. 640 – 642.

GABRIEL FILHO, A.; SILVA, S.L.; MODOLO, A.J.; DIKSTRA, M. Desempenho operacional de trator em solo com três tipos de cobertura vegetal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador. *Anais...* Salvador: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002. CD-ROM.

GAMERO, C. A.; LEVIEN, R.; SIQUEIRA, R.; LOPES, A. Prepare os implementos que está chegando a hora. *A Granja*, Porto Alegre, n.585, p.14-21, 1997.

GHIDEY, F.; GREGORY, J.M.; McCARTY, T.R.; ALBERTS, E.E. Residue decay evaluation and prediction. *Transactions ASAE*, St. Joseph, v.28, 1985, p. 102 – 105.

GIAMPIETRO, M.; CERRETELLI, G. ;PIMENTEL, D. Energy analysis of agricultural ecosystem management: human return and sustainability. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Charlottetown, Canadá, v. 38, p. 219 – 144, 1992.

GOMAR, E.P.; REICHERT, J.M.; GONÇALVES, C.S.; VOHLEMBERG, E.V.; REINERT, D.J. Propriedades do solo após quatro anos de semeadura direta de forrageiras invernais sobre Campo Nativo. In.: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2., 1998, Santa Maria, RS. *Resumos expandidos...* Santa Maria : Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.Núcleo Regional Sul, 1998. p.252 – 255.

GONÇALVES, J.O.N. Fatores que concorrem para a degradação ou melhoramento das pastagens naturais. In.: FEDERACITE IV. *Campo nativo, Melhoramento e Manejo*. Esteio, RS : Federacite, 1993. p. 88 – 91.

GRIFFITH, D. R.; MONCRIEF, J. F.; ECKERT, D. J.; SWAN, J. B.; BREIBACH, D. D. Crop response to tillage systems. In: CONSERVATION tillage systems and management: crop residue management with no-till, ridge-till, mulch-till. Ames: Midwest Plan Service, 1992. p.25-33.

HAAL, C.A.S.; HALL, M.H.P. The efficiency of land and energy use in tropical economies and agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Charlottetown, Canadá, v. 46, p. 1 – 30, 1993.

HARTWIG, R.O.; LAFLEN, J.M. A meterstick method for measuring crop residue cover. *Journal of Soil and Water Conservation*, Ankeny, v.33, 1978, p.90 – 91.

HARGROVE, W.L. The role of no-tillage in a sustainable agriculture. In.: PEIXOTO, R.G.T.; AHRENS, D.C.; SAMAHA, M.J. *Plantio Direto: o caminho para uma agricultura sustentável*. Ponta Grossa: Instituto Agrônômico do Paraná, 1997. p. 15-19.

HEIZMANN, F. X. Resíduos culturais de inverno e assimilação de nitrogênio por culturas de verão. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 20, 1985, p. 1021-1030.

HETZ, E.J.; MELO, L.A. Evaluacion energética de um sistema de producion de mays y trigo com cero labranza: el caso de Chequen, Concepcion, Chile. *Agro-Ciencia*, Chile, v. 13, n.2, 1997, p. 181-187.

- HETZ, E.J.; BARRIOS, A.I. Reduccion Del costo energético de labranza/siembra utilizando sistemas conservacionistaas em Chile. *Agro-ciencia*, Chile, v.13, n.1, 1997, p. 41-47.
- HETZ, E.J.; BORQUEZ, M.F. Requerimiento energeticos para la produccion de frejoles en la Zona Centro Sur de Chile. *Agro-ciencia*, Chile, v. 3, n.2, 1987, p. 135 - 141.
- HERZOG, R.L. da S. *Resposta da soja em semeadura direta após aveia preta implantada em campo nativo, influenciada por quantidade de resíduo, irrigação e profundidade de atuação do sulcador da semeadora-adubadora..* 2003. 95f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2003.
- 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 dose 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. CD-ROM
- HOFMAN, V.L.; SOLIE, J. Dry land small grain seeding equipment. In: CONSERVATION tillage systems and management whit no-till, ridge-till, mulch-till. Ames: Midwest Plan Service, 1992. p. 102 – 108.
- HUDSON, N. W. *Soil Conservation*. 2nd ed. Ithaca : Cornell Uniersity Press, 1981. 324p.
- IGNACZAK, J.C.; SANTOS, H.P. dos; LHAMBY, J.C.B.; BAIER, A.C. Balanço energético de sistemas de rotação de culturas para triticala, num período de seis anos, sob plantio direto, em Passo Fundo, RS. In: REUNIÃO CENTRO-SUL DE ADUBAÇÃO VERDE E ROTAÇÃO DE CULTURAS, 5., Chapecõ, SC, 1995. *Resumos...* Florianópolis: EPAGRI, 1998. p. 141 – 143.
- KIEHL, E.J. *Manual de Edafologia: relações solo-planta*. São Paulo: Ceres, 1979. 263p.

- KLADIVKO, E. J.; GRIFFITH, D. R.; MANNERING, J. V. Conservation tillage effects on soil properties and yield of corn and soya beans in Indiana. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v.8, p.227-287, 1986.
- KLEIN, V. A.; BOLLER, W. Avaliação de diferentes manejos de solo e métodos de semeadura em área sob sistema de plantio direto. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 25, n.3, p. 395-398, 1995.
- KNAPP, W.R. Energy input and production for corn silage. In: PIMENTEL, D. (Ed.) *Handbook of energy utilization in agriculture*. Boca Raton: CRC Press, 1980. p. 169 – 177.
- LAL, R. Tillage and agricultural sustainability. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v.20, p.133-46, 1991.
- LEVIEN, R. *Condições de cobertura e métodos de preparo do solo para a implantação do milho*. Botucatu : UNESP, 1999. 305f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, SP, 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 solos com e sem vegetação de campo nativo, na presença e ausência de disco de corte de palha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 33., 2004, São Pedro, SP. *Anais...* [São Pedro]: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2004. CD-ROM
- 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.; TREIN, C. R. Variação do perfil original do solo em função das operações de preparo do solo e semeadura e chuvas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., 2001, Foz do Iguaçu, PR. *Resumos...* [Foz do Iguaçu, PR], 2001. CD-ROM.
- LINARES, P. *Teoría de la tracción de tractores agrícolas*. Madrid : UPM, 1996. 157p. Monografias ETSIA.

MAGALHÃES, P.C .;DURÃES, F.O.M. Ecofisiologia. In: CULTIVO do milho. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho/index.htm>. Acesso em: 14 set.2005.

MELLO, L.M.M.; YANO, E.H. Manejo da palhada de milho (*Pennisetum americanum*) e doses de adubação sobre a cultura do feijoeiro em semeadura direta. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, SP, v.21, n.1, p. 61 – 67, 2001.

MELLO, J. da S. Fundamentos para integração Lavoura-Pecuária no sistema Plantio Direto. *Revista Plantio Direto*, Porto Alegre, v. 36, 1996a, p. 12-13.

MELLO, J. da S. Alternativas para produção de leite, na pequena propriedade, no sistema Plantio Direto. *Revista Plantio Direto*, Porto Alegre, v. 36, 1996b. p. 14-18.

MIELNICZUK, J. A sustentabilidade agrícola e o plantio direto. In: PEIXOTO, R. T. G.; AHRENS, D. C.; SAMAHA, M. J. *Plantio direto: o caminho para uma agricultura sustentável*. Ponta Grossa: Instituto Agrônomo do Paraná, 1997. p.9-14.

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

MODOLO, A.J.; GABRIEL FILHO, A.; SILVA, S.L; GNOATO, E.; SILVEIRA, J.C.M. Profundidade do sulco e área de solo mobilizada em função do número de linhas de semeadura. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 32., 2003, Goiânia. *Resumos...* Goiânia, GO, 2003. CD-Rom.

- NABIGER, C. técnicas de melhoramento de pastagens naturais no Rio Grande do Sul. In.: SEMINÁRIO SOBRE PASTAGENS: de que pastagens precisamos. *Anais...* Porto Alegre : FARSUL, 1980. p. 28 – 58.
- NGUYEN, M.L.; HAYNES, R.J. Energy and labour efficiency for three pairs of conventional and alternative mixed cropping (pasture-arable) farms in Canterbury, New Zeland. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Charlottetown, Canadá, v. 52, p. 163 – 172, 1995.
- NÓBREGA, L. H. P.; TOKURA, L. K.; LOPES, R. A. P.; PICKLER, E. P. Potencial alelopático de plantas utilizadas como coberturas de inverno na germinação e crescimento inicial da soja. . In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., 2001, Foz do Iguaçu, PR. *Resumos...* Foz do Iguaçu, 2001.
- PAVINATO, A.; AITA, C.; CERETTA, C. A.; BEVILÁQUA, G. P. Resíduos culturais de espécies de inverno e rendimento de grãos de milho no sistema de cultivo mínimo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.29, p.1427-32, 1994.
- PEREIRA, C.F.S. Campo roçado: uma realidade, uma experiência de manejo. In.: FEDERACITE IV. CAMPO nativo, melhoramento e manejo. Esteio, RS, 1993. p. 72 – 87.
- PITELLI, R.A. Interferências de plantas daninhas em culturas agrícolas. Controle de Plantas Daninhas II. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v.11, 1985, p. 16 – 27.
- PORTELLA, J. A. *Um estudo preliminar das forças atuantes em elementos rompedores de semeadoras diretas comerciais*. Campinas : UNICAMP, 1983. 69f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1983.
- PORTELLA, J.A.; SATLER, A.; FAGANELLO, A. Índice de emergência de plântulas de soja e de milho em semeadura direta no Sul do Brasil. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.17, p.71-78, 1997.

PÖTTKER, D.; ROMAN, E. S. Efeito de resíduos de culturas e do pousio de inverno sobre a resposta do milho a nitrogênio. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.29, p.763-70, 1994.

PÖTTKER, D.; BEN, J.R. Calagem em solos sob Plantio Direto e em Campos Nativos do Rio Grande do Sul. In. NUERNBERG, N.J. *Conceitos e fundamentos do sistema Plantio Direto*. [S.l.] : Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Núcleo Regional Sul, 1998. p. 77 – 92.

PÖTTKER, D.; DENARDIN, J. E.; BEN, J.R.; KOCHHANN, R.A. efeito de métodos de aplicação de calcário sobre o rendimento de grãos de soja, em plantio direto. In. REUNIÃO SUL BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 1994, Pelotas, RS. *Anais...* Pelotas : Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Núcleo Regional Sul : UFPel.Faculdade de Agronomia, 1994. p. 21 – 23.

REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Modificações físicas em solos manejados sob sistema de Plantio direto. In: SIEMBRA Directa: Una herramienta para la agricultura conservacionista. Florianópolis, SC : [s.n.], 1999. CD-Rom.

RIZZARDI, M.A. Manejo do Nitrogênio em sistemas de rotação de culturas. In: V REUNIÃO CENTRO-SUL DE ADUBAÇÃO VERDE E ROTAÇÃO DE CULTURAS, 5., 1998, Chapecõ, SC. *Resumos...* Florianópolis: EPAGRI, 1998. p. 22 – 30.

RODRIGUES A. B.; V.H. CARRÃO, M. A.; CIPRIANDI O. Melhoramento de Campo Nativo Integra o Agribusiness do RS. *Revista Plantio Direto*, Porto Alegre, v.36, 1996, p. 19-36.

ROS, C. O.; AITA, C. Efeito de espécies de inverno na cobertura do solo e fornecimento de nitrogênio ao milho, em plantio direto. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, Campinas, v.20, p.135-40, 1996.

ROTH, C. H.; CASTRO FILHO, C.; MEDEIROS, G. B. Análise de fatores físicos e químicos relacionados com a agregação de um Latossolo Roxo distrófico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.15, p.241-8, 1991.

- RUEDELL, J. Dessecação e controle de plantas infestantes no sistema de plantio direto. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1995, Passo Fundo, RS. *Anais...* Passo Fundo, RS : EMBRAPA.CNPT, 1995. v.1, p. 21 – 27.
- SANTI, A. *Adubação nitrogenada na aveia preta (Avena strigosa S.): decomposição da fitomassa, liberação de nitrogênio e rendimento do milho em sucessão*. Santa Maria : UFSM, 2001. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2001.
- SANTOS, H.P. dos; IGNACZAK, J.C.; LHAMBY, J.C.B.; BAIER, A.C. Balanço energético de sistemas de rotação de culturas para triticala, num período de seis anos, sob plantio direto, em Passo Fundo, RS. In: REUNIÃO CENTRO-SUL DE ADUBAÇÃO VERDE E ROTAÇÃO DE CULTURAS, 5., Chapeco, SC, 1995. *Resumos...* Florianópolis: EPAGRI, 1998. p. 138 – 140.
- SATTLER, A. Elementos rompedores de solo e distribuidores de sementes em semeadoras para plantio direto. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1995, Passo Fundo. *Resumos...* Passo Fundo : EMBRAPA. CNPT, 1995. p. 35 – 37.
- SCHROLL, H. Energy-flow and ecological sustainability in Danish agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Charlottetown, Canadá, v. 51, p. 301-310, 1994.
- SCHULER, R. T.; WOOD, R. K. Soil compaction. In: CONSERVATION tillage systems and management: crop residue management with no-till, ridge-till, mulch-till. Ames: Midwest Plan Service, 1992. p.42-5.
- SCOTT, W.O.; KRUMMEL, J. Energy used in producing soybeans. In: PIMENTEL, D. (ed) *Handbook of energy utilization in agriculture*. Boca Raton: CRC Press, 1980. p. 117 – 121.

- SEGUY, L.; BOUZINAC, S.; TRENTINI, A. Construção de uma agricultura sustentável, lucrativa e adaptada aos entraves pedoclimáticos das regiões tropicais úmidas. *Informações Agronômicas*, Piracicaba, v.74, p.2-20, 1996.
- SIDIRAS, N.; PAVAN, M. A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.9, p. 207 – 214, 1985.
- SIEMENS, J. C.; DOSTER, D. H. Costs and returns. In: CONSERVATION tillage systems and management: crop residue management with no-till, ridge-till, mulch-till. Ames: Midwest Plan Service, 1992. p.34-41.
- SIQUEIRA, R. *Sistemas de preparo em diferentes tipos de coberturas vegetais do solo*. Botucatu, SP : UNESP,1999. 160f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, SP, 1999.
- SIQUEIRA, R.; ARAÚJO, A. G.; CASÃO JR. R.; RALISCH R., Desempenho energético de semeadoras-adubadoras de plantio direto na implantação da cultura da soja (*Glycine max* L.). . In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., 2001, Foz do Iguaçu, PR. *Resumos...* Foz do Iguaçu, PR, 2001.
- SIQUEIRA, R.; CASÃO JR. R. Entraves de mecanização agrícola no sistema de plantio direto em municípios limieiros ao lago Itaipú – a visão dos produtores e da assistência técnica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 32., 2003, Goiânia. *Resumos...* Goiânia, 2003.
- SIQUEIRA, R.; CASÃO JR. R.; ARAÚJO, A. G. Escolha certa. *Cultivar Máquinas*, Pelotas, n.4, jul/ago. 2001, p. 15 –19.
- STONEHOUSE, D. P. The economics of tillage for large-scale mechanized farms. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v.20, 1991,p.333 – 351.

STRECK, E.V. *Erosão hídrica relacionada com o subfator uso anterior da terra do modelo "RUSLE"*. 1999. 195f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação de Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

SUMMER, H. R.; HELLWING, R. E.; MONROE, G. E. Measuring implement power requirements from tractor fuel consumption. *Transactions ASAE*, St. Joseph, v.29, p.85-9, 1986.

TAYLOR, H.M. Managing root systems to reduce plant water deficits. In.: METHA, Y.R. *The soil/root system in relation to Brazilian agriculture*. Londrina: IAPAR, 1981. p. 45-60.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. *Análise de solos, plantas e outros materiais*. Porto Alegre : Departamento de Solos da UFRGS, 1995. 147p. (Boletim Técnico, 5).

TEIXEIRA, L.F.G.; BALASTREIRE, L.A. Equação para determinação do custo acumulado de reparos e manutenção para tratores agrícolas de pneus. *STAB*, São Paulo, v.15, n. 4, 1997, p. 19-23.

TREIN, C.R.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Métodos de preparo do solo na cultura do milho e ressemeadura do trevo na rotação aveia+trevo/milho, após pastejo intensivo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, SP, n. 15, 1991, p. 105 – 111.

ULBANERE, R.C. *Análise dos balanços energético e econômico relativa 'a produção e perdas de grãos de milho no Estado de São Paulo*. Botucatu, SP : UNESP, 1988. 127f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, SP, 1999.

VIEIRA, C.P.; MESQUITA, C.M.; HERNANI, L.C. *O produtor pergunta, a EMBRAPA responde*. Brasília: EMBRAPA.SPI; Dourados: EMBRAPA.CPAO, 1998. Cap 13. p.151.

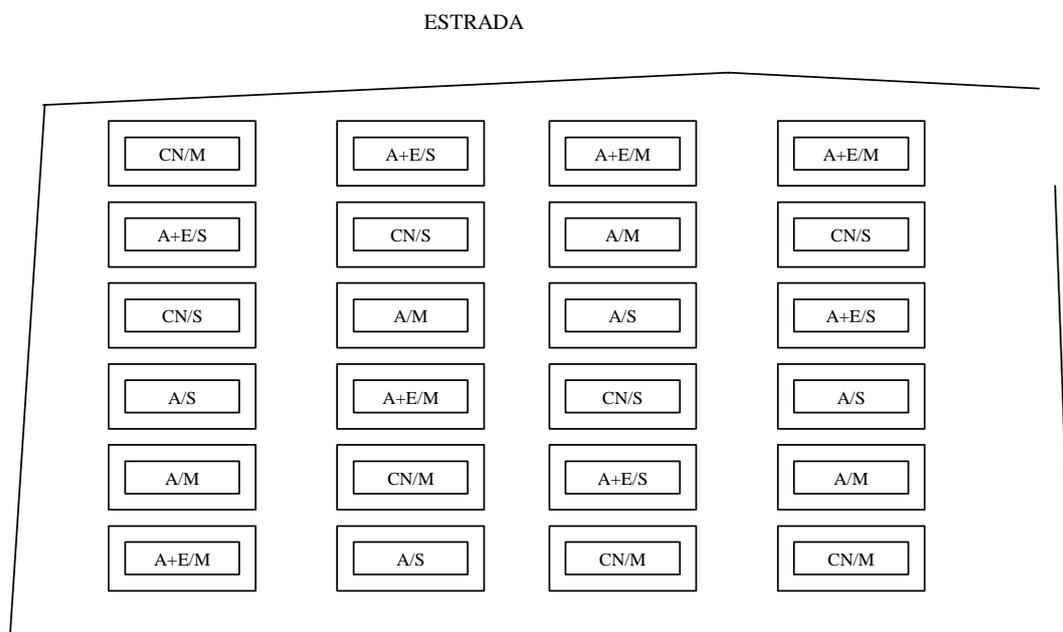
VOORHEES, W. B.; FARRELL, D. A.; LARSON, W. E. Soil strength and aeration effect on root elongation. *Soil Science Society American Proceedings*, Madison, v.39, p.948-953, 1975.

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT (WCED). *Our common future*. Oxford, UK : Oxford University Press, 1987. 393 p.

YAMAOKA, R. S. Equipamentos. In: SIMPÓSIO SOBRE ENERGIA NA AGRICULTURA, 1984, Jaboticabal. *Anais...* Jaboticabal: ESALQ.Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 1984. p.55-81.

7. APÊNDICES

7.1 Croqui da área experimental



*Observação:

- 1 - Nas duas safras (2002/03 e 2003/04) os tratamentos de inverno continuam os mesmos e nas mesmas parcelas;
- 2 - Na safra 2003/04 as culturas de verão (milho e soja) serão trocadas de parcela. No croqui, onde tem-se M (milho) ler-se-á S (soja) e vice-versa.

7. 2 Variáveis climáticas, safra 2002/2003

| | Dia | Chuva | Temperatura | Evapotranspiração |
|----|----------|-------|-------------|-------------------|
| 1 | 20/10/02 | 35,6 | 22,1 | 2,5 |
| 2 | 21/10/02 | 4,8 | 16,5 | 2,2 |
| 3 | 22/10/02 | 0,0 | 12,5 | 4,9 |
| 4 | 23/10/02 | 4,9 | 15,2 | 5,1 |
| 5 | 24/10/02 | 16,7 | 17,2 | 0,5 |
| 6 | 25/10/02 | 0,0 | 20,1 | 1,3 |
| 7 | 26/10/02 | 1,2 | 21,5 | 4,9 |
| 8 | 27/10/02 | 0,0 | 21,4 | 1,3 |
| 9 | 28/10/02 | 0,0 | 24,0 | 4,0 |
| 10 | 29/10/02 | 0,0 | 20,0 | 1,5 |
| 11 | 30/10/02 | 20,2 | 19,2 | 4,3 |
| 12 | 31/10/02 | 15,6 | 16,0 | 1,1 |
| 13 | 01/11/02 | 0,0 | 19,8 | 4,3 |
| 14 | 02/11/02 | 0,0 | 22,0 | 5,4 |
| 15 | 03/11/02 | 33,4 | 22,0 | 4,7 |
| 16 | 04/11/02 | 0,0 | 18,0 | 1,5 |
| 17 | 05/11/02 | 0,0 | 16,9 | 5,1 |
| 18 | 06/11/02 | 0,0 | 17,8 | 4,4 |
| 19 | 07/11/02 | 0,0 | 19,2 | 5,2 |
| 20 | 08/11/02 | 0,0 | 19,8 | 5,6 |
| 21 | 09/11/02 | 14,8 | 19,7 | 3,0 |
| 22 | 10/11/02 | 0,0 | 19,0 | 3,3 |
| 23 | 11/11/02 | 0,0 | 19,8 | 7,2 |
| 24 | 12/11/02 | 0,0 | 18,2 | 5,7 |
| 25 | 13/11/02 | 0,0 | 20,4 | 5,8 |
| 26 | 14/11/02 | 0,0 | 23,2 | 5,2 |
| 27 | 15/11/02 | 0,0 | 22,9 | 3,5 |
| 28 | 16/11/02 | 0,0 | 24,4 | 5,5 |
| 29 | 17/11/02 | 40,8 | 24,3 | 4,9 |
| 30 | 18/11/02 | 0,0 | 23,1 | 1,8 |
| 31 | 19/11/02 | 2,4 | 23,0 | 5,3 |
| 32 | 20/11/02 | 30,2 | 20,5 | 0,3 |
| 33 | 21/11/02 | 0,0 | 20,2 | 3,2 |
| 34 | 22/11/02 | 0,0 | 20,3 | 5,5 |
| 35 | 23/11/02 | 0,0 | 22,6 | 5,5 |
| 36 | 24/11/02 | 0,0 | 24,5 | 4,2 |
| 37 | 25/11/02 | 1,6 | 24,7 | 1,9 |
| 38 | 26/11/02 | 0,0 | 23,9 | 4,1 |
| 39 | 27/11/02 | 9,4 | 20,4 | 0,6 |
| 40 | 28/11/02 | 1,2 | 21,4 | 1,8 |
| 41 | 29/11/02 | 0,0 | 22,3 | 1,3 |
| 42 | 30/11/02 | 10,3 | 24,8 | 4,1 |
| 43 | 01/12/02 | 43,8 | 21,2 | 0,6 |
| 44 | 02/12/02 | 0,0 | 20,8 | 4,1 |
| 45 | 03/12/02 | 0,0 | 22,7 | 5,9 |

| | | | | |
|----|----------|------|------|-----|
| 46 | 04/12/02 | 16,8 | 22,4 | 1,5 |
| 47 | 05/12/02 | 49,2 | 25,3 | 2,9 |
| 48 | 06/12/02 | 0,6 | 24,0 | 2,8 |
| 49 | 07/12/02 | 2,1 | 22,7 | 3,1 |
| 50 | 08/12/02 | 0,0 | 20,5 | 5,4 |
| 51 | 09/12/02 | 0,0 | 22,2 | 6,0 |
| 52 | 10/12/02 | 2,3 | 23,1 | 4,7 |
| 53 | 11/12/02 | 46,6 | 22,8 | 2,8 |
| 54 | 12/12/02 | 0,0 | 23,2 | 5,5 |
| 55 | 13/12/02 | 0,0 | 23,9 | 5,8 |
| 56 | 14/12/02 | 0,0 | 24,5 | 5,2 |
| 57 | 15/12/02 | 16,6 | 25,2 | 5,2 |
| 58 | 16/12/02 | 0,0 | 25,3 | 5,9 |
| 59 | 17/12/02 | 0,0 | 23,0 | 5,5 |
| 60 | 18/12/02 | 0,0 | 20,7 | 6,6 |
| 61 | 19/12/02 | 9,0 | 22,0 | 3,8 |
| 62 | 20/12/02 | 0,0 | 21,4 | 1,6 |
| 63 | 21/12/02 | 0,0 | 22,3 | 4,8 |
| 64 | 22/12/02 | 24,0 | 25,5 | 5,0 |
| 65 | 23/12/02 | 11,2 | 22,3 | 1,0 |
| 66 | 24/12/02 | 1,3 | 18,9 | 2,2 |
| 67 | 25/12/02 | 0,0 | 19,4 | 5,9 |
| 68 | 26/12/02 | 0,0 | 21,6 | 6,3 |
| 69 | 27/12/02 | 0,0 | 24,0 | 6,2 |
| 70 | 28/12/02 | 0,0 | 24,7 | 5,7 |
| 71 | 29/12/02 | 0,0 | 25,8 | 5,6 |
| 72 | 30/12/02 | 0,0 | 25,6 | 4,2 |
| 73 | 31/12/02 | 0,0 | 25,2 | 2,8 |
| 74 | 01/01/03 | 0,0 | 24,2 | 3,8 |
| 75 | 02/01/03 | 0,0 | 23,2 | 4,7 |
| 76 | 03/01/03 | 1,0 | 23,8 | 4,3 |
| 77 | 04/01/03 | 0,0 | 25,1 | 3,4 |
| 78 | 05/01/03 | 0,0 | 24,8 | 5,5 |
| 79 | 06/01/03 | 0,0 | 24,2 | 5,3 |
| 80 | 07/01/03 | 0,0 | 22,9 | 5,8 |
| 81 | 08/01/03 | 0,0 | 23,9 | 6,3 |
| 82 | 09/01/03 | 2,0 | 25,4 | 4,2 |
| 83 | 10/01/03 | 14,1 | 21,1 | 0,7 |
| 84 | 11/01/03 | 1,1 | 22,6 | 5,0 |
| 85 | 12/01/03 | 0,0 | 23,6 | 5,1 |
| 86 | 13/01/03 | 0,0 | 24,4 | 5,8 |
| 87 | 14/01/03 | 0,0 | 25,3 | 6,4 |
| 88 | 15/01/03 | 0,0 | 25,4 | 6,4 |
| 89 | 16/01/03 | 0,6 | 24,7 | 5,7 |
| 90 | 17/01/03 | 0,0 | 25,3 | 6,1 |
| 91 | 18/01/03 | 0,0 | 24,6 | 4,8 |
| 92 | 19/01/03 | 22,4 | 25,1 | 6,3 |

| | | | | |
|-----|----------|------|------|-----|
| 93 | 20/01/03 | 0,0 | 23,4 | 2,9 |
| 94 | 21/01/03 | 0,0 | 24,4 | 5,8 |
| 95 | 22/01/03 | 16,1 | 25,2 | 5,4 |
| 96 | 23/01/03 | 7,2 | 22,8 | 1,9 |
| 97 | 24/01/03 | 0,0 | 20,7 | 6,0 |
| 98 | 25/01/03 | 0,0 | 21,6 | 5,4 |
| 99 | 26/01/03 | 0,0 | 24,0 | 5,2 |
| 100 | 27/01/03 | 0,0 | 25,1 | 5,2 |
| 101 | 28/01/03 | 0,0 | 24,1 | 5,6 |
| 102 | 29/01/03 | 0,0 | 23,9 | 6,4 |
| 103 | 30/01/03 | 0,0 | 25,6 | 6,2 |
| 104 | 31/01/03 | 0,0 | 27,6 | 6,3 |
| 105 | 01/02/03 | 0,8 | 27,1 | 6,0 |
| 106 | 02/02/03 | 0,0 | 27,2 | 6,3 |
| 107 | 03/02/03 | 0,0 | 27,5 | 5,4 |
| 108 | 04/02/03 | 0,0 | 28,1 | 5,7 |
| 109 | 05/02/03 | 2,6 | 28,4 | 5,4 |
| 110 | 06/02/03 | 0,2 | 26,4 | 3,5 |
| 111 | 07/02/03 | 0,0 | 26,2 | 3,7 |
| 112 | 08/02/03 | 1,4 | 25,7 | 3,7 |
| 113 | 09/02/03 | 37,4 | 24,0 | 2,1 |
| 114 | 10/02/03 | 2,8 | 24,8 | 4,1 |
| 115 | 11/02/03 | 3,3 | 25,5 | 3,5 |
| 116 | 12/02/03 | 0,0 | 25,3 | 3,3 |
| 117 | 13/02/03 | 10,0 | 22,0 | 2,6 |
| 118 | 14/02/03 | 7,8 | 21,8 | 4,3 |
| 119 | 15/02/03 | 0,0 | 23,6 | 5,8 |
| 120 | 16/02/03 | 11,3 | 21,9 | 1,5 |
| 121 | 17/02/03 | 0,0 | 21,6 | 5,7 |
| 122 | 18/02/03 | 0,0 | 20,4 | 4,6 |
| 123 | 19/02/03 | 80,8 | 18,9 | 1,1 |
| 124 | 20/02/03 | 0,8 | 20,7 | 1,3 |
| 125 | 21/02/03 | 0,0 | 20,3 | 3,8 |
| 126 | 22/02/03 | 0,0 | 20,0 | 2,7 |
| 127 | 23/02/03 | 1,4 | 24,4 | 3,2 |
| 128 | 24/02/03 | 16,6 | 24,1 | 2,5 |
| 129 | 25/02/03 | 0,0 | 25,4 | 3,9 |
| 130 | 26/02/03 | 0,0 | 25,9 | 5,2 |
| 131 | 27/02/03 | 0,0 | 27,1 | 5,2 |
| 132 | 28/02/03 | 19,3 | 26,9 | 5,0 |
| 133 | 01/03/03 | 2,4 | 24,9 | 4,2 |
| 134 | 02/03/03 | 18,4 | 24,3 | 3,6 |
| 135 | 03/03/03 | 0,0 | 23,5 | 2,1 |
| 136 | 04/03/03 | 0,0 | 24,9 | 4,0 |
| 137 | 05/03/03 | 0,0 | 25,6 | 5,0 |
| 138 | 06/03/03 | 2,8 | 26,5 | 4,4 |
| 139 | 07/03/03 | 0,0 | 25,4 | 3,0 |

| | | | | |
|-----|----------|------|------|-----|
| 140 | 08/03/03 | 0,0 | 26,7 | 4,3 |
| 141 | 09/03/03 | 0,0 | 27,0 | 4,7 |
| 142 | 10/03/03 | 0,0 | 26,4 | 3,8 |
| 143 | 11/03/03 | 41,8 | 25,7 | 4,0 |
| 144 | 12/03/03 | 1,0 | 23,3 | 2,6 |
| 145 | 13/03/03 | 0,0 | 21,4 | 4,0 |
| 146 | 14/03/03 | 0,0 | 21,0 | 4,5 |
| 147 | 15/03/03 | 0,0 | 21,7 | 2,1 |
| 148 | 16/03/03 | 0,0 | 21,1 | 1,1 |
| 149 | 17/03/03 | 0,0 | 20,0 | 4,3 |
| 150 | 18/03/03 | 0,0 | 20,8 | 4,5 |
| 151 | 19/03/03 | 0,0 | 24,1 | 4,0 |
| 152 | 20/03/03 | 25,1 | 22,3 | 2,3 |
| 153 | 21/03/03 | 0,0 | 18,8 | 3,3 |
| 154 | 22/03/03 | 0,0 | 18,1 | 4,0 |
| 155 | 23/03/03 | 0,0 | 18,7 | 3,4 |
| 156 | 24/03/03 | 0,0 | 20,7 | 4,5 |
| 157 | 25/03/03 | 0,0 | 21,0 | 3,5 |
| 158 | 26/03/03 | 0,0 | 22,1 | 3,8 |
| 159 | 27/03/03 | 0,0 | 22,1 | 4,3 |
| 160 | 28/03/03 | 0,0 | 22,2 | 4,1 |
| 161 | 29/03/03 | 0,0 | 23,0 | 4,1 |
| 162 | 30/03/03 | 0,0 | 22,9 | 3,4 |
| 163 | 31/03/03 | 0,0 | 21,2 | 1,5 |
| 164 | 01/04/03 | 0,0 | 21,2 | 2,9 |
| 165 | 02/04/03 | 0,0 | 20,4 | 3,7 |
| 166 | 03/04/03 | 6,4 | 18,3 | 2,0 |
| 167 | 04/04/03 | 0,0 | 18,1 | 1,9 |
| 168 | 05/04/03 | 0,0 | 20,1 | 2,6 |
| 169 | 06/04/03 | 0,0 | 18,6 | 2,9 |
| 170 | 07/04/03 | 0,0 | 17,6 | 3,6 |
| 171 | 08/04/03 | 0,0 | 17,0 | 3,6 |
| 172 | 09/04/03 | 0,0 | 18,2 | 3,5 |
| 173 | 10/04/03 | 0,0 | 19,6 | 2,8 |
| 174 | 11/04/03 | 0,0 | 17,6 | 3,9 |
| 175 | 12/04/03 | 0,0 | 13,3 | 3,9 |
| 176 | 13/04/03 | 0,0 | 13,8 | 3,4 |
| 177 | 14/04/03 | 0,0 | 13,7 | 2,8 |
| 178 | 15/04/03 | 0,0 | 16,0 | 3,3 |

7. 3 Variáveis climáticas, safra 2003/2004

| | Dia | Chuva | Temperatura | Evapotranspiração |
|----|----------|-------|-------------|-------------------|
| 1 | 26/09/03 | 0,0 | 17,6 | 1,3 |
| 2 | 27/09/03 | 0,0 | 18,9 | 2,8 |
| 3 | 28/09/03 | 0,0 | 15,5 | 2,2 |
| 4 | 29/09/03 | 0,0 | 15,6 | 2,6 |
| 5 | 30/09/03 | 0,0 | 16,7 | 4,0 |
| 6 | 01/10/03 | 0,0 | 19,2 | 4,1 |
| 7 | 02/10/03 | 0,0 | 20,2 | 2,3 |
| 8 | 03/10/03 | 0,0 | 19,4 | 1,5 |
| 9 | 04/10/03 | 18,6 | 21,2 | 3,2 |
| 10 | 05/10/03 | 18,3 | 20,0 | 1,0 |
| 11 | 06/10/03 | 0,0 | 18,3 | 1,0 |
| 12 | 07/10/03 | 0,0 | 18,9 | 2,8 |
| 13 | 08/10/03 | 23,8 | 20,9 | 3,7 |
| 14 | 09/10/03 | 0,0 | 18,0 | 1,4 |
| 15 | 10/10/03 | 0,0 | 14,2 | 2,7 |
| 16 | 11/10/03 | 0,0 | 13,2 | 3,2 |
| 17 | 12/10/03 | 0,0 | 12,7 | 4,2 |
| 18 | 13/10/03 | 0,0 | 13,3 | 4,1 |
| 19 | 14/10/03 | 0,0 | 16,2 | 4,6 |
| 20 | 15/10/03 | 0,0 | 18,3 | 4,9 |
| 21 | 16/10/03 | 0,0 | 19,7 | 5,0 |
| 22 | 17/10/03 | 0,0 | 21,0 | 5,0 |
| 23 | 18/10/03 | 2,2 | 23,1 | 5,3 |
| 24 | 19/10/03 | 0,0 | 21,8 | 1,9 |
| 25 | 20/10/03 | 0,6 | 18,1 | 3,0 |
| 26 | 21/10/03 | 0,0 | 19,9 | 2,2 |
| 27 | 22/10/03 | 0,0 | 19,0 | 5,0 |
| 28 | 23/10/03 | 0,0 | 17,8 | 5,3 |
| 29 | 24/10/03 | 85,7 | 22,1 | 5,1 |
| 30 | 25/10/03 | 63,2 | 19,9 | 0,3 |
| 31 | 26/10/03 | 0,0 | 21,0 | 2,6 |
| 32 | 27/10/03 | 0,0 | 17,3 | 4,6 |
| 33 | 28/10/03 | 0,0 | 19,1 | 5,8 |
| 34 | 29/10/03 | 0,0 | 20,9 | 4,9 |
| 35 | 30/10/03 | 0,0 | 22,8 | 5,5 |
| 36 | 31/10/03 | 64,8 | 22,8 | 5,4 |
| 37 | 01/11/03 | 2,6 | 15,2 | 2,4 |
| 38 | 02/11/03 | 0,0 | 14,4 | 4,0 |
| 39 | 03/11/03 | 0,0 | 15,0 | 5,0 |
| 40 | 04/11/03 | 0,0 | 17,0 | 5,4 |
| 41 | 05/11/03 | 0,0 | 18,9 | 4,2 |
| 42 | 06/11/03 | 0,0 | 19,9 | 4,9 |
| 43 | 07/11/03 | 0,0 | 20,3 | 5,2 |
| 44 | 08/11/03 | 0,0 | 21,4 | 5,7 |
| 45 | 09/11/03 | 0,0 | 21,3 | 3,4 |

| | | | | |
|----|----------|------|------|-----|
| 46 | 10/11/03 | 0,0 | 22,7 | 5,9 |
| 47 | 11/11/03 | 0,0 | 25,3 | 5,2 |
| 48 | 12/11/03 | 30,5 | 20,6 | 1,6 |
| 49 | 13/11/03 | 3,2 | 17,4 | 3,1 |
| 50 | 14/11/03 | 0,0 | 19,5 | 5,9 |
| 51 | 15/11/03 | 3,9 | 20,2 | 4,0 |
| 52 | 16/11/03 | 6,1 | 21,1 | 0,6 |
| 53 | 17/11/03 | 10,0 | 22,7 | 3,8 |
| 54 | 18/11/03 | 0,0 | 21,1 | 3,9 |
| 55 | 19/11/03 | 0,0 | 20,3 | 3,3 |
| 56 | 20/11/03 | 0,0 | 18,3 | 6,3 |
| 57 | 21/11/03 | 0,0 | 18,2 | 6,0 |
| 58 | 22/11/03 | 0,0 | 22,4 | 5,8 |
| 59 | 23/11/03 | 53,9 | 25,0 | 6,1 |
| 60 | 24/11/03 | 8,3 | 21,9 | 2,4 |
| 61 | 25/11/03 | 0,0 | 21,9 | 2,6 |
| 62 | 26/11/03 | 1,0 | 24,4 | 4,9 |
| 63 | 27/11/03 | 0,0 | 24,5 | 4,4 |
| 64 | 28/11/03 | 0,0 | 22,5 | 6,1 |
| 65 | 29/11/03 | 0,0 | 23,8 | 7,0 |
| 66 | 30/11/03 | 0,0 | 23,3 | 6,3 |
| 67 | 01/12/03 | 0,0 | 23,3 | 4,7 |
| 68 | 02/12/03 | 0,0 | 23,4 | 6,2 |
| 69 | 03/12/03 | 0,0 | 22,8 | 3,6 |
| 70 | 04/12/03 | 25,7 | 22,2 | 2,7 |
| 71 | 05/12/03 | 0,0 | 23,8 | 7,0 |
| 72 | 06/12/03 | 0,0 | 18,3 | 6,4 |
| 73 | 07/12/03 | 0,0 | 20,7 | 6,7 |
| 74 | 08/12/03 | 37,6 | 20,5 | 3,8 |
| 75 | 09/12/03 | 0,0 | 18,6 | 6,6 |
| 76 | 10/12/03 | 0,0 | 19,1 | 6,6 |
| 77 | 11/12/03 | 60,3 | 19,0 | 0,1 |
| 78 | 12/12/03 | 0,0 | 20,0 | 4,9 |
| 79 | 13/12/03 | 0,0 | 19,1 | 2,8 |
| 80 | 14/12/03 | 38,2 | 22,3 | 3,4 |
| 81 | 15/12/03 | 22,1 | 20,7 | 0,5 |
| 82 | 16/12/03 | 0,0 | 19,3 | 3,7 |
| 83 | 17/12/03 | 0,0 | 16,8 | 6,7 |
| 84 | 18/12/03 | 0,0 | 21,2 | 6,8 |
| 85 | 19/12/03 | 0,0 | 23,3 | 5,7 |
| 86 | 20/12/03 | 14,1 | 22,3 | 1,5 |
| 87 | 21/12/03 | 5,1 | 24,0 | 5,4 |
| 88 | 22/12/03 | 0,0 | 22,2 | 2,7 |
| 89 | 23/12/03 | 0,0 | 19,5 | 5,5 |
| 90 | 24/12/03 | 0,0 | 20,6 | 6,0 |
| 91 | 25/12/03 | 0,0 | 22,1 | 5,7 |
| 92 | 26/12/03 | 0,0 | 22,5 | 6,8 |

| | | | | |
|-----|----------|------|------|-----|
| 93 | 27/12/03 | 0,0 | 24,3 | 6,7 |
| 94 | 28/12/03 | 0,0 | 25,5 | 4,9 |
| 95 | 29/12/03 | 0,0 | 19,9 | 5,0 |
| 96 | 30/12/03 | 0,0 | 22,1 | 4,5 |
| 97 | 31/12/03 | 0,0 | 21,8 | 5,9 |
| 98 | 01/01/04 | 0,0 | 17,1 | 5,8 |
| 99 | 02/01/04 | 0,0 | 19,2 | 6,6 |
| 100 | 03/01/04 | 0,0 | 21,4 | 6,9 |
| 101 | 04/01/04 | 0,0 | 22,9 | 6,7 |
| 102 | 05/01/04 | 0,0 | 24,5 | 6,6 |
| 103 | 06/01/04 | 0,0 | 25,5 | 6,6 |
| 104 | 07/01/04 | 0,0 | 26,1 | 6,4 |
| 105 | 08/01/04 | 0,0 | 25,5 | 5,0 |
| 106 | 09/01/04 | 1,0 | 25,0 | 4,7 |
| 107 | 10/01/04 | 0,0 | 25,4 | 4,8 |
| 108 | 11/01/04 | 34,0 | 23,2 | 4,3 |
| 109 | 12/01/04 | 0,0 | 23,0 | 5,1 |
| 110 | 13/01/04 | 0,0 | 23,3 | 5,9 |
| 111 | 14/01/04 | 0,0 | 23,3 | 4,0 |
| 112 | 15/01/04 | 6,7 | 23,4 | 5,6 |
| 113 | 16/01/04 | 0,0 | 23,5 | 5,3 |
| 114 | 17/01/04 | 0,0 | 23,7 | 6,7 |
| 115 | 18/01/04 | 0,0 | 23,9 | 5,1 |
| 116 | 19/01/04 | 1,3 | 23,3 | 3,4 |
| 117 | 20/01/04 | 9,0 | 24,7 | 5,4 |
| 118 | 21/01/04 | 9,6 | 22,4 | 2,6 |
| 119 | 22/01/04 | 0,0 | 23,9 | 3,9 |
| 120 | 23/01/04 | 0,0 | 25,4 | 5,6 |
| 121 | 24/01/04 | 0,6 | 24,2 | 3,5 |
| 122 | 25/01/04 | 0,0 | 23,5 | 4,4 |
| 123 | 26/01/04 | 0,0 | 23,9 | 5,1 |
| 124 | 27/01/04 | 0,0 | 22,9 | 3,6 |
| 125 | 28/01/04 | 0,0 | 24,9 | 5,4 |
| 126 | 29/01/04 | 0,0 | 24,7 | 4,5 |
| 127 | 30/01/04 | 0,0 | 26,3 | 6,2 |
| 128 | 31/01/04 | 0,0 | 25,8 | 5,7 |
| 129 | 01/02/04 | 10,6 | 25,1 | 4,2 |
| 130 | 02/02/04 | 0,0 | 25,7 | 4,7 |
| 131 | 03/02/04 | 39,2 | 24,3 | 4,8 |
| 132 | 04/02/04 | 2,6 | 23,7 | 1,7 |
| 133 | 05/02/04 | 0,3 | 23,8 | 2,8 |
| 134 | 06/02/04 | 0,0 | 22,1 | 5,8 |
| 135 | 07/02/04 | 3,2 | 21,0 | 3,4 |
| 136 | 08/02/04 | 0,0 | 22,8 | 6,1 |
| 137 | 09/02/04 | 0,0 | 23,2 | 6,3 |
| 138 | 10/02/04 | 0,0 | 23,2 | 6,0 |
| 139 | 11/02/04 | 0,0 | 24,2 | 6,1 |

| | | | | |
|-----|----------|------|------|-----|
| 140 | 12/02/04 | 0,0 | 24,5 | 6,4 |
| 141 | 13/02/04 | 26,6 | 24,8 | 4,5 |
| 142 | 14/02/04 | 54,9 | 21,4 | 1,5 |
| 143 | 15/02/04 | 0,0 | 21,3 | 5,3 |
| 144 | 16/02/04 | 0,0 | 21,3 | 5,6 |
| 145 | 17/02/04 | 0,0 | 23,3 | 4,7 |
| 146 | 18/02/04 | 0,0 | 23,9 | 6,0 |
| 147 | 19/02/04 | 0,0 | 21,8 | 4,7 |
| 148 | 20/02/04 | 0,0 | 20,2 | 4,9 |
| 149 | 21/02/04 | 0,0 | 19,4 | 5,3 |
| 150 | 22/02/04 | 0,0 | 19,9 | 4,2 |
| 151 | 23/02/04 | 0,0 | 20,4 | 4,2 |
| 152 | 24/02/04 | 0,0 | 20,3 | 5,0 |
| 153 | 25/02/04 | 0,0 | 21,6 | 5,4 |
| 154 | 26/02/04 | 0,0 | 24,2 | 5,3 |
| 155 | 27/02/04 | 0,0 | 23,2 | 5,0 |
| 156 | 28/02/04 | 3,9 | 21,4 | 4,4 |
| 157 | 29/02/04 | 0,0 | 21,0 | 4,5 |
| 158 | 01/03/04 | 0,0 | 21,0 | 5,4 |
| 159 | 02/03/04 | 0,0 | 23,4 | 4,4 |
| 160 | 03/03/04 | 0,0 | 22,4 | 4,7 |
| 161 | 04/03/04 | 0,0 | 19,7 | 5,0 |
| 162 | 05/03/04 | 0,0 | 22,6 | 2,5 |
| 163 | 06/03/04 | 0,0 | 23,5 | 3,1 |
| 164 | 07/03/04 | 0,0 | 23,6 | 5,7 |
| 165 | 08/03/04 | 3,5 | 24,2 | 3,3 |
| 166 | 09/03/04 | 0,0 | 24,7 | 5,7 |
| 167 | 10/03/04 | 0,0 | 24,0 | 5,9 |
| 168 | 11/03/04 | 0,0 | 20,6 | 5,6 |
| 169 | 12/03/04 | 4,2 | 21,1 | 6,0 |
| 170 | 13/03/04 | 0,3 | 21,9 | 5,6 |
| 171 | 14/03/04 | 35,0 | 23,2 | 4,3 |
| 172 | 15/03/04 | 2,9 | 22,5 | 1,8 |
| 173 | 16/03/04 | 0,0 | 23,1 | 5,4 |
| 174 | 17/03/04 | 0,0 | 22,4 | 5,9 |
| 175 | 18/03/04 | 0,0 | 21,6 | 4,8 |
| 176 | 19/03/04 | 0,0 | 20,5 | 5,4 |
| 177 | 20/03/04 | 23,8 | 19,1 | 4,1 |
| 178 | 21/03/04 | 0,0 | 19,6 | 4,8 |
| 179 | 22/03/04 | 0,0 | 19,2 | 5,2 |
| 180 | 23/03/04 | 0,0 | 19,7 | 4,3 |
| 181 | 24/03/04 | 0,0 | 21,0 | 4,4 |
| 182 | 25/03/04 | 0,0 | 20,9 | 5,2 |
| 183 | 26/03/04 | 0,0 | 21,5 | 5,3 |
| 184 | 27/03/04 | 5,8 | 21,5 | 4,9 |
| 185 | 28/03/04 | 0,3 | 23,9 | 5,1 |
| 186 | 29/03/04 | 0,0 | 25,0 | 4,9 |

| | | | | |
|-------|----------|-----|------|-----|
| 187 | 30/03/04 | 0,0 | 23,7 | 4,7 |
| 188 | 31/03/04 | 0,0 | 23,0 | 5,5 |
| <hr/> | | | | |