

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM SISTEMAS DE
CULTURAS SOB PLANTIO DIRETO NA
INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Mastrângello Enívar Lanzasova

Santa Maria, RS, Brasil

2005

**ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM SISTEMAS DE
CULTURAS SOB PLANTIO DIRETO NA INTEGRAÇÃO
LAVOURA-PECUÁRIA**

por

Mastrângello Enívar Lanzasova

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração em Biodinâmica e Manejo do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciência do Solo.**

Orientador: Prof. Dr. Thomé Lovato

Santa Maria, RS, Brasil

2005

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM SISTEMAS DE CULTURAS SOB
PLANTIO DIRETO NA INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA**

elaborada por
Mastrângello Enívar Lanza Nova

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Ciência do Solo

COMISSÃO EXAMINADORA:

Thomé Lovato, Dr.
(Presidente/Orientador)

João Mielniczuk, PhD.(UFRGS)

Flávio Luiz Foletto Eltz, PhD. (UFSM)

Santa Maria, 30 de Abril de 2005

AGRADECIMENTOS

Ao Senhor, nosso Pai que estás no céu, que sempre me guiou e protegeu, em todos os caminhos por onde andei e dificuldades por que passei.

Aos meus pais Alvino e Rita Lazanova, pelo apoio, incentivo, pela força, por não me deixar desistir nunca, pelo amor e dedicação, por tudo o que tenho hoje.

À minha irmã, Fibebe, pela convivência de morarmos juntos durante seis anos, pelos bons e maus momentos vividos, pela preocupação e atenção dedicada ao meu trabalho, e ao meu irmão, Marco, por estar sempre do meu lado quando precisei, e ser mais do que um irmão, mas um amigo sincero e de confiança.

Ao meu amigo e colega Rodrigo da Silveira Nicoloso, sempre um fiel companheiro de todas as horas, o qual sempre pude contar, pelo apoio, pela ajuda, pelo trabalho, por todos os momentos bons, por todas as dificuldades, por tudo.

Ao meu orientador, Thomé Lovato, pela oportunidade oferecida, pela amizade, pela conversa e atenção dedicada, pelo exemplo de pessoa que és.

À Luciana de Abreu, pela amizade, atenção, apoio e incentivo de sempre continuar, pelas conversas tranquilizadoras, por estar sempre do meu lado.

A todos os meus colegas, em especial a Marcelo Gonçalves Marques e Martin Maria Cubilla Andrada, por todos esses anos de amizade e companheirismo, pela convivência e momentos passados.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria, pela oportunidade oferecida e pelos serviços prestados.

Ao senhor José Davi Nicoloso e esposa, Mara da Silveira Nicoloso, proprietários da Agropecuária Capitão Rodrigo, pela disponibilidade de infraestrutura e área para a

realização do experimento, pelo acolhimento em sua residência, pela atenção, amizade e confiança prestadas durante esses anos.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela concessão da bolsa de estudos e apoio financeiro durante a execução do trabalho.

À turma de mestrandos do PPGCS-UFSM ingressa em 2003, caros colegas de disciplinas, trabalhos e convivência durante os dois anos do curso.

Ao pessoal do Laboratório de Manejo e Conservação do Solo e da Água da UFSM, pela ajuda na execução dos trabalhos, pelo empenho e dedicação nas tarefas, pela amizade, convivência e companheirismo.

A todos os meus amigos, colegas, professores e funcionários do Departamento de Solos da UFSM, por todos os momentos e amizades desenvolvidas, pela atenção e dedicação prestadas.

A todas as pessoas que de uma forma ou de outra contribuíram e acreditaram no meu trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO.....	ix
ABSTRACT.....	x
SUMÁRIO.....	vi
LISTA DE TABELAS.....	xi
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
LISTA DE APÊNDICES.....	xvi
1. INTRODUÇÃO.....	01
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	03
2.1 O Sistema Plantio Direto e a Rotação de Culturas.....	03
2.2 Integração Lavoura-Pecuária.....	09
2.3 Potencial de Produção Animal em Pastagem Cultivada.....	14
2.4 Propriedades Físicas do Solo Alteradas pelo seu Manejo e pelo Pisoteio Bovino.....	19
2.4.1 Densidade do Solo.....	20
2.4.2 Infiltração de Água no Solo.....	23
2.4.3 Porosidade do Solo.....	26
2.4.4 Resistência do Solo à Penetração.....	28
2.4.5 Estrutura do Solo.....	31
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	35
3.1 Histórico e Localização da Área Experimental.....	35
3.2 Clima e Solo.....	35
3.3 Delineamento Experimental e Tratamentos.....	36
3.4 Instalação e Condução dos Experimentos.....	37

3.4.1 Pastagens de Inverno.....	37
3.4.2 Sistemas de Pastoreio.....	39
3.4.3 Sistemas de Culturas de Verão.....	40
3.5 Determinação da Produtividade das Culturas.....	41
3.5.1 Produção de Matéria Seca das Pastagens.....	41
3.5.2 Produtividade de Grãos das Culturas de Verão.....	42
3.6 Estimativa do Ganho de Peso Animal em Pastagem Cultivada.....	42
3.7 Avaliação das Propriedades Físicas do Solo.....	42
3.7.1 Densidade do Solo.....	42
3.7.2 Porosidade Total, Microporosidade e Macroporosidade do Solo.....	43
3.7.3 Resistência do Solo à Penetração.....	43
3.7.4 Infiltração de Água no Solo.....	44
3.7.5 Distribuição do Tamanho de Agregados Estáveis em Água e Diâmetro Médio Geométrico de Agregados.....	45
3.8 Análise Estatística.....	47
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	48
4.1 Propriedades Físicas do Solo alteradas pelo Pisoteio Bovino e Manejo do Solo.....	48
4.1.1 Densidade do Solo.....	49
4.1.2 Porosidade do Solo.....	57
4.1.3 Resistência do Solo à Penetração.....	62
4.1.4 Infiltração de Água no Solo.....	69
4.1.5 Distribuição do Tamanho de Agregados Estáveis em Água e Diâmetro Médio Geométrico de Agregados.....	77
4.2 Parâmetros de Produtividade da Pastagem de Inverno.....	84
4.2.1 Produção de Matéria Seca	84
4.2.2 Estimativa do Ganho de Peso Animal em Pastagem Cultivada.....	88
4.3 Produtividade de Grãos de Soja.....	91

4.4 Produtividade de Grãos de Milho.....	93
5. CONCLUSÕES.....	97
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	98
7. APÊNDICES	112

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM SISTEMAS DE CULTURAS SOB PLANTIO DIRETO NA INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA

Autor: Mastrângello Enívar Lanzasova

Orientador: Thomé Lovato

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 30 de abril de 2005.

A integração lavoura-pecuária tem ganhado impulso nos últimos anos no RS. Com o objetivo de avaliar o impacto de diferentes sistemas de culturas de verão e de frequências de pastoreio na pastagem de inverno, em alguns atributos físicos do solo, executou-se um experimento de campo no município de Jari – RS, em um Argissolo Vermelho-amarelo. Os sistemas de culturas de verão utilizados, sob sistema plantio direto, foram: Monocultura de Soja (MS), Monocultura de Milho (MM), Rotação de cultura com Soja e milho (RS), e Rotação de cultura com Milho e soja (RM). As frequências de pastoreio utilizadas foram: Sem Pastoreio (SP), Pastoreio em intervalos de 28 dias (P28) e Pastoreio a cada 14 dias (P14). A pastagem utilizada foi um consórcio forrageiro de inverno (aveia preta e azevém), submetido a duas doses de adubação nitrogenada: 0 kg N ha⁻¹ (0N) e 200 kg N ha⁻¹ (200N). Após dois anos de avaliações do experimento, a infiltração de água no solo sofreu significativa redução quando da utilização de uma maior frequência de pastoreio (P14), em comparação com áreas não pastejadas (SP), passando de 63 mm h⁻¹ para 35 mm h⁻¹. A densidade, porosidade total e microporosidade do solo mostraram-se menos sensíveis na detecção de compactação do solo pelo pisoteio bovino. Já a macroporosidade do solo, na camada de 0-5 cm, sofreu redução significativa, passando de 0,17 para 0,08 dm³ dm⁻³, da área não pastejada (SP) para a área pastejada a cada 14 dias (P14), respectivamente. A resistência do solo à penetração observada após o período de pastejo, demonstrou o efeito compactador do pisoteio bovino, chegando a valores de 2,64 MPa no P14 e 2,67 MPa no P28, no segundo ano do experimento. O diâmetro médio geométrico de agregados não foi significativamente alterado pelos tratamentos aplicados. Com exceção da produtividade do milho no tratamento P14 com 0N, a produção de grãos sofreu influência direta do pisoteio bovino, sendo menor no P14 e P28, porém não havendo diferenças estatísticas significativas em relação à produção nas áreas não pastejadas (SP). Observou-se uma tendência à maior produção nas áreas de rotação de culturas, em comparação com a produção obtida com a utilização de monoculturas, tanto para milho quanto para soja. Os resultados obtidos indicam que o sistema de integração lavoura-pecuária é viável, desde que o manejo das pastagens de inverno seja adequado, e que se utilize rotação de culturas no verão.

Palavras-chave: Integração lavoura-pecuária, plantio direto, compactação do solo, pastagem de inverno, sistemas de culturas, pisoteio bovino.

ABSTRACT

Master of Science Dissertation
Graduate Program in Soil Science
Federal University of Santa Maria

SOIL PHYSICAL ATTRIBUTES IN INTEGRATED SYSTEMS OF AGRICULTURE CATTLE-RAISING UNDER NO TILLAGE

Author: Mastrângello Enívar Lanzasova

Adviser: Thomé Lovato

Date and Local: Santa Maria, April 30, 2005

The integration between agriculture and cattle-raising has growing up in the last few years in Rio Grande do Sul state, Brazil. With the aim to evaluate the changes in some physical soil properties caused by different summer crop systems and pasture winter grazing frequencies, an experiment was carried out in Jari, central part of the state, in a Nitosol. The summer crop systems used, under no till, were: continuous soybean (MS), soybean-corn in crop rotation system (RS), continuous corn (MM), and corn-soybean crop rotation system (RM). The grazing frequencies used were: no graze (SP), graze at 28-day intervals (P28) and graze at 14-day intervals (P14). Winter pasture used was a mixture of black oat and ryegrass, under two nitrogen fertilization levels: 0 kg N ha⁻¹ (0N) and 200 kg N ha⁻¹ (200N). After two years of winter pasture utilization, soil water infiltration rate decreased significantly when the pasture were more frequently grazed (P14), compared with no grazed areas (SP), with values changing from 63 to 35 mm h⁻¹. Soil bulk density, total porosity and microporosity showed low sensibility in detect soil compacted layers, caused by cattle trampling. Soil macroporosity, at 0-5 cm depth, had significant reduction, changing from 0,17 to 0,08 dm³ dm⁻³, in no grazed and graze at 14-day intervals areas, respectively. Soil penetration resistance observed after the grazing period, showed the compressive effect of cattle trampling, hitting values of 2,64 MPa in P14 and 2,67 MPa in P28, in the second year of the experiment. Aggregate geometric mean diameter was not affected by any used treatment. Except corn yield in P14, that had the smaller yield, yields at all were lower in P14 and P28, in comparison with SP. However no significant differences were observed. A tendency in highest yields was observed when crop rotations were used, even to corn or soybean. The results obtained showed that the integration between agriculture and cattle-raising is feasible, since the winter pasture management used be adequate, and the crop rotation be present.

Key words: Integrated agriculture cattle-raising system, no tillage, cattle trampling, soil compaction, winter pasture.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Análise química do solo da área experimental, na profundidade de 0-10 cm, antes da instalação do experimento. Jari – RS, Maio de 2000.....	36
TABELA 2 – Análise granulométrica do solo da área experimental. Jari – RS, Novembro de 2003.....	36
TABELA 3 – Cronograma de aplicação das doses de nitrogênio na pastagem de inverno, para o ano de 2004.....	39
TABELA 4 – Atributos físicos do solo sob campo nativo, Jari – RS, 2003.....	49
TABELA 5 – Densidade do Solo, segundo a frequência de pastoreio empregada no inverno (SP = Sem Pastoreio; P28 = Pastoreio a cada 28 dias e P14 = Pastoreio a cada 14 dias) e sistema de cultura de verão (MS = Monocultura de Soja; RS = Soja em Rotação com milho; MM = Monocultura de Milho e RM = Milho em Rotação com soja), em três camadas de solo. Jari – RS. Abril de 2004.....	56
TABELA 6 – Microporosidade, Macroporosidade e Porosidade Total do Solo, em duas profundidades, segundo a Frequência de Pastoreio empregada na pastagem de inverno (SP = Sem Pastoreio; P28 = Pastoreio a cada 28 dias; P14 = Pastoreio a cada 14 dias). Jari – RS, outubro de 2003.....	58
TABELA 7 – Microporosidade, Macroporosidade e Porosidade Total do Solo, em três profundidades, segundo a Frequência de Pastoreio empregada no inverno (SP = Sem Pastoreio; P28 = Pastoreio a cada 28 dias; P14 = Pastoreio a cada 14 dias). Jari – RS, outubro de 2004.....	59
TABELA 8 – Macroporosidade, Microporosidade e Porosidade Total do solo em três profundidades, após o ciclo de diferentes sistemas de cultura de verão (MS = Monocultura de Soja; RS = Soja em Rotação de cultura com milho; MM = Monocultura de Milho e RM = Milho em Rotação de cultura com soja). Jari – RS. Abril de 2004.....	61

TABELA 9 – Percentagem de agregados em cinco classes de diâmetro, em duas profundidades, em áreas submetidas a três freqüências de pastoreio de inverno: SP = Sem Pastoreio; P28 = Pastoreio a cada 28 dias, e P14 = Pastoreio a cada 14 dias. Jari – RS, outubro de 2004.....	79
TABELA 10 – Percentagem de agregados em cinco classes de diâmetro, em áreas submetidas a diferentes sistemas de cultura de verão (MS = Soja em Monocultura; RS = Soja em Rotação de cultura com milho; MM = Milho em Monocultura e RM = Milho em Rotação de cultura com soja), em duas profundidades no perfil do solo. Jari – RS, outubro de 2004.....	82
TABELA 11 – Produtividade de grãos de soja, em função do sistema de cultivo (MS = Monocultura; e RS = Rotação de cultura com milho), freqüência de pastoreio de inverno (SP = Sem Pastoreio; P28 = Pastoreio a cada 28 dias; e P14 = Pastoreio a cada 14 dias) e dose de nitrogênio na pastagem de inverno (0N = 0 kg N ha ⁻¹ e 200N = 200 kg N ha ⁻¹). Jari – RS, março de 2004.....	92
TABELA 12 – Produtividade de grãos de milho, em função da freqüência de pastoreio de inverno (SP = sem pastoreio; P28 = pastoreio a cada 28 dias; e P14 = pastoreio a cada 14 dias), sistema de cultivo (MM = Monocultura; e RM = Rotação com soja) e dose de nitrogênio na pastagem de inverno (0N= 0 kg N ha ⁻¹ e 200N= 200 kg N ha ⁻¹). Jari – RS, março de 2004.....	94

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Croqui esquemático da área experimental, para a safra de verão 2003/2004 (1º verão) e 2004/2005 (2º verão).....	37
FIGURA 2 – Detalhe do estabelecimento da pastagem de aveia preta + azevém. Jari –RS, junho de 2003.....	38
FIGURA 3 – Detalhe dos duplos cilindros concêntricos e do cano de PVC utilizados para a determinação da taxa de infiltração de água no solo. Jari – RS, outubro de 2003.....	46
FIGURA 4 – Densidade do Solo, no primeiro ano de avaliação do experimento, antes (A) e depois (D) da aplicação de freqüências de pastoreio de inverno (SP = Sem Pastoreio; P28 = Pastoreio a cada 28 dias e P14 = Pastoreio a cada 14 dias). Jari – RS, 2003.....	50
FIGURA 5 – Densidade do Solo, no segundo ano de avaliação do experimento, antes (A) e depois (D) da aplicação de freqüências de pastoreio de inverno (SP = Sem Pastoreio; P28 = Pastoreio a cada 28 dias e P14 = Pastoreio a cada 14 dias), Jari – RS, 2004.....	53
FIGURA 6 – Densidade do Solo, no segundo ano de avaliação do experimento, na camada de 0-5, 5-10 e 10-15 cm de profundidade, após o cultivo de soja em monocultura (MS) e rotação de cultura com milho (RS), e do milho em monocultura (MM) e em rotação de cultura com soja (RM). Jari – RS, 2004.....	54
FIGURA 7 – Resistência do solo à penetração (a) e umidade volumétrica do solo (b), em áreas submetidas a diferentes freqüências de pastoreio de inverno (SP = sem pastoreio; P28 = pastoreio a cada 28 dias e P14 = pastoreio a cada 14 dias). Jari – RS. Outubro de 2003.....	62
FIGURA 8 – Resistência do solo à penetração (a) e umidade volumétrica do solo (b), em áreas submetidas a diferentes freqüências de pastoreio de inverno (SP = sem pastoreio; P28 = pastoreio a cada 28 dias; P14 = pastoreio a cada 14 dias e CN = campo nativo). Jari	

– RS. Outubro de 2004.....	63
FIGURA 9 – Evolução da resistência do solo à penetração (a) e umidade volumétrica do solo (b), em área submetida ao pastoreio bovino com intervalos de 14 dias de descanso da pastagem. Jari – RS. Inverno de 2003.....	65
FIGURA 10 – Evolução da resistência do solo à penetração (a) e umidade volumétrica do solo (b), em área submetida ao pastoreio bovino com intervalos de 28 dias de descanso da pastagem. Jari - RS. Inverno de 2003.....	66
FIGURA 11 – Resistência do solo à penetração (a) e umidade volumétrica do solo (b), em pastagem submetida a duas doses de adubação nitrogenada (0N = 0 Kg N ha ⁻¹ , e 200N = 200 Kg N ha ⁻¹). Jari – RS. Inverno de 2003.....	67
FIGURA 12 – Resistência do solo à penetração (a) e umidade volumétrica do solo (b), em pastagem submetida a duas doses de adubação nitrogenada (0N = 0 Kg N ha ⁻¹ , e 200N = 200 Kg N ha ⁻¹). Jari – RS. Inverno de 2004.....	68
FIGURA 13 – Taxa de infiltração de água no solo, em áreas submetidas a diferentes freqüências de pastoreio (SP = Sem Pastoreio; P28 = Pastoreio a cada 28 dias; P14 = Pastoreio a cada 14 dias) em pastagem de inverno composta por aveia preta e azevém. Outubro de 2004.....	70
FIGURA 14 – Lâmina de água infiltrada acumulada, durante 120 minutos, em áreas submetidas a diferentes freqüências de pastoreio (SP = Sem Pastoreio; P28 = Pastoreio a cada 28 dias; P14 = Pastoreio a cada 14 dias) em pastagem de inverno composta por aveia preta e azevém. Outubro de 2004.....	71
FIGURA 15 – Taxa de infiltração de água no solo, em áreas submetidas a diferentes sistemas de culturas de verão (MS = Monocultura de Soja; MM = Monocultura de Milho; e RSM = Rotação de cultura com Soja e Milho). Jari – RS, outubro de 2004.....	74
FIGURA 16 – Lâmina de água infiltrada acumulada, segundo o sistema de cultura de verão adotado (MS = Monocultura de Soja; MM = Monocultura de Milho; e RSM = Rotação de cultura com Soja e Milho). Jari – RS, outubro de 2004.....	76
FIGURA 17 – Diâmetro médio geométrico de agregados, em pastagem de aveia preta e azevém submetida a três freqüências de pastoreio: Sem Pastoreio (SP), Pastoreio a cada 28 dias (P28) e Pastoreio a cada 14 dias (P14). Jari – RS, outubro de 2004.....	77
FIGURA 18 – Diâmetro Médio Geométrico de agregados (DMG) em áreas submetidas a diferentes sistemas de cultura de verão (MS = Soja em Monocultura; RS = Soja em	

Rotação de cultura com milho; MM = Milho em Monocultura e RM = Milho em Rotação de cultura com soja), em duas profundidades no perfil de solo. Jari – RS, outubro de 2004.....	80
FIGURA 19 – Diâmetro Médio Geométrico de agregados (DMG) em áreas submetidas a duas doses de adubação nitrogenada (0N = 0 kg N ha ⁻¹ ; e 200N = 200 kg N ha ⁻¹). Jari – RS, outubro de 2004.....	83
FIGURA 20 – Produção remanescente de matéria seca de uma pastagem constituída por aveia preta e azevém, submetida a três freqüências de pastoreio (SP= Sem Pastoreio; P28= Pastoreio a cada 28 dias; e P14= Pastoreio a cada 14 dias) e duas doses de adubação nitrogenada (0N= 0 kg N ha ⁻¹ , e 200N= 200 kg N ha ⁻¹). Jari – RS, outubro de 2003.....	85
FIGURA 21 – Produção remanescente de matéria seca de uma pastagem constituída por aveia preta e azevém, submetida a três freqüências de pastoreio (SP = Sem Pastoreio; P28 = Pastoreio a cada 28 dias; e P14 = Pastoreio a cada 14 dias) e duas doses de adubação nitrogenada (0N = 0 kg N ha ⁻¹ e 200N = 200 kg N ha ⁻¹). Jari – RS, outubro de 2004.....	86
FIGURA 22 – Ganho de peso vivo animal, em função da freqüência de pastoreio utilizada (P28= Pastoreio a cada 28 dias; e P14= Pastoreio a cada 14 dias) e dose de adubação nitrogenada (0N= 0 kg N ha ⁻¹ ; e 200N= 200 kg N ha ⁻¹). Jari – RS, outubro de 2003.....	88
FIGURA 23 – Ganho de peso vivo, em função da freqüência de pastoreio utilizada (P28= Pastoreio a cada 28 dias; e P14= Pastoreio a cada 14 dias) e dose de adubação nitrogenada (0N= 0 kg N ha ⁻¹ ; e 200N= 200 kg N ha ⁻¹). Jari – RS, outubro de 2004.....	90

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A – Vista panorâmica da área experimental e do campo nativo característico da região. Agropecuária Capitão Rodrigo, Jari – RS.....	113
APÊNDICE B – Detalhe da operação de semeadura direta da pastagem de inverno (a) e bovinos das raças Aberdeen Angus e Red Angus utilizados na realização dos pastoreios, nos invernos de 2003 e 2004 (b). Agropecuária Capitão Rodrigo, Jari – RS.....	114
APÊNDICE C – Área submetida ao pastoreio a cada 28 dias, à direita, e sem pastoreio, à esquerda (a), e área pastejada a cada 14 dias (b). Agropecuária Capitão Rodrigo, Jari – RS.....	115
APÊNDICE D - Detalhe das culturas de soja e milho, implantadas após o período de pastoreio de inverno, na área experimental (a) e momento da introdução de um anel volumétrico no solo, antes da implantação da pastagem de inverno, em 2003 (b). Agropecuária Capitão Rodrigo, Jari – RS.....	116
APÊNDICE E – Detalhe da “mesa de tensão” utilizada para a determinação da porosidade do solo (a) e infiltrômetros instalados nas parcelas do experimento (b) para a avaliação da infiltração de água no solo. Agropecuária Capitão Rodrigo, Jari – RS.....	117
APÊNDICE F – Percentagem de agregados em cinco classes de diâmetro, em duas profundidades, em áreas de pastagem de inverno submetidas a duas doses de adubação nitrogenada: 0N= 0,0 kg N ha ⁻¹ e 200N= 200 kg N ha ⁻¹ .Jari – RS, outubro de 2004.....	118
APÊNDICE G – Resistência do solo à penetração em áreas submetidas a diferentes sistemas de culturas de verão: MS= soja em monocultivo; RS= soja em rotação de cultura com milho; MM= milho em monocultivo; RM= milho em rotação de cultura com soja. Agropecuária Capitão Rodrigo, Jari – RS.....	119

APÊNDICE H – Produção de matéria seca remanescente de uma pastagem de inverno composta por aveia preta e azevém, instalada em área anteriormente submetida ao monocultivo de soja (MS) ou à rotação da soja com a cultura do milho (RS) e três frequências de pastoreio (SP= Sem pastoreio; P28= Pastoreio a cada 28 dias e P14= Pastoreio a cada 14 dias). Agropecuária Capitão Rodrigo, Jari - RS.....	120
APÊNDICE I – Ganho de peso vivo, em pastagem anteriormente submetida a diferentes sistemas de cultura de verão: MS= soja em monocultivo; RS= soja em rotação de cultura com milho; MM= milho em monocultivo; RM= milho em rotação de cultura com soja. Agropecuária Capitão Rodrigo, Jari – RS.....	121
APÊNDICE J – Densidade do solo em áreas de pastagem de inverno submetidas a duas doses de adubação nitrogenada: 0N= 0,0 kg N ha ⁻¹ e 200N= 200 kg N ha ⁻¹ Agropecuária Capitão Rodrigo, Jari – RS.....	122
APÊNDICE K – Macro, micro e porosidade total do solo, em área de pastagem de inverno submetida a duas doses de adubação nitrogenada: 0N= 0,0 kg N ha ⁻¹ e 200N= 200 kg N ha ⁻¹ . Agropecuária Capitão Rodrigo, Jari – RS. Outubro de 2004.....	123
APÊNDICE L – Croqui esquemático da área experimental, para os invernos de 2003 e 2004.....	124
APÊNDICE M – Taxa de acúmulo diário de matéria seca (Kg MS ha dia ⁻¹) de uma pastagem de inverno composta por aveia preta + azevém, pastoreada a cada 28 dias e submetida a duas doses de adubação nitrogenada (0N = 0 Kg N ha ⁻¹ e 200N = 200 Kg N ha ⁻¹) Agropecuária Capitão Rodrigo, Jari – RS. Inverno de 2004.....	125

1. INTRODUÇÃO

A atividade agropecuária é a grande responsável pela manutenção do superávit da balança comercial brasileira, respondendo por 33 % do Produto Interno Bruto (PIB), 42 % do total das exportações totais, e 37 % dos empregos brasileiros no ano de 2004. Como carro chefe deste bom desempenho estão as culturas de grãos, as quais atingiram uma safra recorde de 123 milhões de toneladas em 2003, e a produção de carne, sendo que o Brasil possui o maior rebanho comercial de bovinos do mundo, com 167 milhões de cabeças, abatendo cerca de 40 milhões no ano de 2003.

Essa produção recorde foi alcançada primeiramente devido ao aumento da área cultivada, e também com a recuperação de áreas de pastagens degradadas, agora inseridas no sistema de integração lavoura-pecuária, o qual vem crescendo em área de adoção e alcançando índices de produtividade superiores aos encontrados quando da utilização de uma ou outra atividade isolada. Outro fator decisivo foi o acréscimo na produtividade média por hectare das culturas de grãos, chegando no caso da soja a ser superior aos maiores produtores mundiais, como os Estados Unidos da América, demonstrando aí a sua importância para a economia brasileira.

O incremento na produtividade média das culturas de grãos ocorreu gradativamente, como reposta a assimilação de novas tecnologias por parte dos produtores rurais, como a utilização de corretivos e fertilizantes do solo, utilização do sistema plantio direto, irrigação, uso de cultivares melhoradas e biotecnologia. A consolidação do sistema plantio direto, reduzindo a erosão do solo a um mínimo, melhorando a qualidade química, física e biológica do solo e diminuindo os custos de produção, foi uma das grandes responsáveis pelos bons índices alcançados hoje na agricultura. A área de adoção do sistema plantio direto vem aumentando significativamente nos últimos anos, alcançando cerca de 21 milhões de hectares em 2004. Essas novas áreas eram antes cultivadas no sistema de preparo convencional do solo, caracterizado pelo alto consumo de combustível e pelo revolvimento excessivo do solo para a realização da semeadura das culturas, ou eram áreas, no caso do Estado do Rio Grande do Sul, de campo nativo que foram diretamente incorporadas à agricultura ou ao sistema de integração lavoura-pecuária, já no sistema plantio direto.

O Estado do Rio Grande do Sul tem importante participação na produção da carne bovina brasileira, sendo que a base produtiva ainda é o sistema de pecuária extensiva em campo nativo. Aliando-se o sistema plantio direto ao bom desempenho da agricultura nos últimos anos, está ocorrendo o avanço das áreas de lavoura sobre áreas antes utilizadas com pastagem nativa para a produção de carne bovina. Este fato determina então a necessidade de mudança do tradicional sistema de produção extensiva de carne bovina para sistemas mais intensivos de exploração, com utilização de manejos adequados das pastagens, como o pastoreio rotativo e a utilização de adubação nitrogenada, fazendo com que se reduza a idade de abate dos animais e se melhore significativamente a qualidade das carcaças produzidas.

O uso de pastagens de inverno, especialmente com a utilização de consórcios forrageiros entre gramíneas e leguminosas, é uma excelente alternativa para a produção de carne, podendo-se alcançar altos índices de produtividade e ganho de peso animal. Porém, em áreas de integração lavoura-pecuária, surge a preocupação com o impacto que um manejo inadequado dos animais durante o inverno, possa ocasionar sobre as culturas de verão, como a soja e o milho. O manejo incorreto dos animais no inverno, como a utilização de superlotação ou sublotação animal, pastoreio contínuo e utilização da pastagem em condições de umidade elevada, promove a compactação do solo e reduz a produção de massa seca vegetal que serviria como cobertura de solo para a cultura sucessora. Aliado a isto, a não utilização de rotação de culturas de verão, com plantas de sistemas radiculares diferenciados para explorar mais equilibradamente o solo, e o uso da monocultura de soja, cultura esta que produz pouco material residual para posterior cobertura do solo, tende a intensificar os problemas de compactação do solo e a diminuir os teores de matéria orgânica do solo, mesmo sob plantio direto.

Baseado neste contexto, o presente trabalho teve por objetivo o estudo dos impactos que a integração lavoura-pecuária, sob diferentes manejos das pastagens de inverno e sistemas de culturas de verão, provoca nos atributos de qualidade física do solo, como sua estrutura, densidade e porosidade, capacidade do solo em absorver a água das chuvas e também a sua resistência à penetração das raízes, os quais podem ser fatores determinantes do sucesso de altas produtividades das culturas e, também conseqüentemente, da atividade pecuária.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O SISTEMA PLANTIO DIRETO E A ROTAÇÃO DE CULTURAS

O sistema plantio direto (SPD), caracterizado como um tipo de manejo de solo onde o seu revolvimento para a realização da sementeira é mínimo e os resíduos da cultura antecessora são mantidos na superfície do solo (Peixoto et al., 1997; Jorge, 1986; Sidiras & Pavan, 1985; Benatti et al., 1984), iniciou no Brasil a partir do início da década de setenta, no Estado do Paraná. No início os produtores que utilizavam o SPD encontraram algumas dificuldades, principalmente com relação às máquinas agrícolas, no caso as semeadoras, que eram fabricadas para outra situação de trabalho, e também em relação à ocorrência de ervas daninhas, pois a capina mecânica não era utilizada neste sistema e não existiam herbicidas eficientes. Porém, com a modernização da agricultura e os avanços tecnológicos, semeadoras adaptadas ao sistema foram fabricadas e novos e eficazes agroquímicos foram descobertos, fazendo com que a praticidade e a eficiência do plantio direto fosse comprovada (Derpsch et al., 1991).

A partir daí a área de adoção do sistema cresceu rapidamente e expandiu-se para outros estados brasileiros, ultrapassando 21,8 milhões de hectares cultivados na safra 2003/2004 (FEBRAPDP, 2004). Esse aumento de utilização do SPD ocorreu em detrimento ao sistema de preparo convencional do solo, onde operações de aração e gradagem eram necessárias para a realização da sementeira das culturas, e também devido ao avanço da fronteira agrícola do país.

O preparo do solo é a operação mais importante do seu manejo, pois atua diretamente na estrutura do solo, afetando a sua densidade e porosidade, as quais tendem a diferenciar-se das condições naturais do solo, piorando com o passar do tempo, em manejos inadequados (Anjos et al., 1994). O preparo convencional, desenvolvido para países de clima temperado, além de necessitar uma quantidade muito grande de energia para a sua realização e possuir um custo elevado de execução, é caracterizado por deixar o solo desprotegido da ação erosiva da chuva e do vento, favorecendo o processo de perda de solo, que em alguns casos pode chegar a até 40 Mg ha⁻¹ de solo num único ciclo de cultivo de milho (Levien et al., 1990).

Mello et al. (2003) avaliaram a perda de solo em cinco diferentes manejos de solo durante o ciclo da cultura da soja, num Nitossolo Háplico e constataram que a semeadura direta em campo nativo dessecado apresentou perda de solo, em média, 88 % inferior ao encontrado no cultivo mínimo (uma aração + uma gradagem).

Comparando as perdas de solo e água por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo do solo e cobertura vegetal, ao longo de cinco anos, Eltz et al. (1984) encontraram uma redução de 86 % nas perdas totais de solo na sucessão trigo/milho sob sistema plantio direto, em relação à mesma sucessão sob preparo convencional do solo. As perdas totais acumuladas de solo foram 65 % inferiores quando o sistema plantio direto foi utilizado, em relação ao preparo convencional.

Atualmente, onde cada vez mais as práticas agrícolas que visam a conservação do solo e da água são preconizadas (Derpsch, 2004), atenção especial tem sido dada ao efeito benéfico do SPD no seqüestro de carbono atmosférico, que consiste no processo de fixação do carbono contido no gás CO₂ da atmosfera no carbono presente na matéria orgânica do solo, via fotossíntese (Bayer, 2004). O potencial de seqüestro de carbono pela utilização do sistema plantio direto é tão grande que pode chegar a ordem de 1,79 Mg CO₂ ha⁻¹ano⁻¹ (Bayer et al., 2000) a 1,9 Mg CO₂ ha⁻¹ano⁻¹ (Amado et al., 2001).

Cosentino et al. (1998) avaliaram o efeito de três sistemas de cultivo do solo (preparo convencional, cultivo reduzido e plantio direto) em um Chernossolo Argilúvico, no carbono orgânico total (COT) e no carbono da biomassa microbiana (CBM). Os resultados mostraram que o COT foi mais alto e significativamente diferente nas parcelas sob plantio direto. O plantio direto foi o único sistema que apresentou diferenças significativas com a profundidade. Já o CBM apresentou uma tendência similar ao COT, embora o decréscimo tenha sido maior no preparo convencional e no preparo reduzido.

Lovato et al. (2004), avaliando o efeito de três sistemas de culturas e duas doses de adubação nitrogenada (0,0 e 139 kg N ha⁻¹) num Argissolo Vermelho degradado submetido a três sistemas de preparo do solo (convencional, reduzido e plantio direto) nos estoques de carbono e nitrogênio do solo e na produtividade da cultura do milho, concluíram que a inclusão de leguminosas em sistemas de cultura e a adubação nitrogenada contribuíram para uma maior adição anual de C e N ao solo, o que foi diretamente relacionado com os estoques destes elementos no solo e com a produtividade do milho. Os autores concluíram ainda que a recuperação dos estoques de C orgânico e de N total ocorreu apenas no solo sob plantio

direto, indicando que o sistema é uma prática fundamental quando se objetiva a recuperação de solos degradados na região subtropical do Sul do Brasil.

García-Préchac et al. (2004) realizaram uma síntese dos resultados de pesquisa obtidos no Uruguai, onde comparações entre preparo convencional e plantio direto, assim como sistemas de lavouras em monocultura e sistemas de rotação de lavouras com pastagens, foram avaliados em experimentos de longo prazo (de 1960 a 1990 em preparo convencional e a partir de 1990 com o sistema plantio direto). A erosão do solo foi mais de seis vezes inferior no plantio direto com monocultura de lavoura, e aproximadamente três vezes inferior com a rotação entre lavouras e pastagens. O conteúdo de carbono orgânico do solo decresceu com o preparo convencional e monocultura de lavouras, sendo que foram mantidos os valores originais encontrados no solo quando utilizado o sistema plantio direto. A conclusão mais interessante e expressiva foi de que o sistema de rotação entre lavouras e pastagens proporcionou no mínimo a manutenção do conteúdo original de carbono do solo, sendo que o aumento nesse conteúdo também foi comumente observado.

Além da eficiência do SPD no controle da erosão e no seqüestro de carbono atmosférico, a melhoria dos atributos químicos de fertilidade do solo (Muzilli, 1983; Santos et al., 1996; Sidiras & Pavan, 1986) e dos atributos físicos como a umidade, retenção e infiltração da água no solo também são melhorados (Sidiras et al., 1983; Centurion & Dematte, 1985 e Melo Filho & Silva, 1993). A biologia do solo também é muito influenciada pelo tipo de manejo. O SPD, pela manutenção dos resíduos das culturas em superfície e o não revolvimento do solo, protegendo-o da ação direta da radiação solar, oferece melhores condições de umidade e temperatura, diminuindo sua amplitude (Sidiras & Pavan, 1983; Bragagnolo & Mielniczuk, 1990), o que favorece o desenvolvimento de micro, meso e macrorganismos do solo (Cattelan & Vidor, 1990; Cattelan et al., 1997; Cividanes & Barbosa, 2001 e Cividanes, 2002), que em geral possuem efeito benéfico ao solo.

Em experimento de longa duração (21 anos), Costa et al. (2003) avaliaram os efeitos do sistema plantio direto e preparo convencional nas propriedades físicas de um Latossolo Bruno alumínico câmbico e no rendimento de grãos de soja e milho. A adoção do sistema plantio direto proporcionou significativa melhoria nos atributos físicos, como a densidade, temperatura e diâmetro médio geométrico de agregados. O rendimento de grãos de soja (média de 18 safras) e de milho (4 safras) foram respectivamente 42 e 22 % superiores em plantio direto, em comparação ao preparo convencional, o que foi atribuído principalmente ao efeito benéfico do SPD na melhoria da qualidade física do solo.

Porém, todos estes benefícios podem desaparecer com a prática da monocultura (Denti & Reis, 2001; Hoffmann et al., 2004). Entre os problemas mais graves causados por esta prática, está o aumento do custo de produção e a queda de produtividade das lavouras, causada pela degradação química dos solos, aumento da incidência de doenças (Santos et al., 1987), pragas e plantas daninhas, além de problemas na parte física, como o empobrecimento da estrutura do solo (Santos & Reis, 2001) e favorecimento à compactação do solo (Torres & Saraiva, 1999).

Para evitar o comprometimento da produtividade das culturas surge então a necessidade da realização de rotação de culturas como ferramenta fundamental no manejo integrado de pragas, doenças e controle de plantas daninhas (Peixoto et al., 1997; Santos et al., 1987). A rotação de culturas é eficiente não apenas no aspecto fitossanitário. Comparando sucessões com rotações de culturas, Campos et al. (1995) observaram maior atividade microbiana e estabilidade de agregados, ao passo que Albuquerque et al. (1995) encontraram maior macroporosidade e menor densidade do solo, nos sistemas de rotação.

Santos & Siqueira (1995) encontraram aumento significativo no teor de matéria orgânica do solo na profundidade de 0-5 cm com a cevada em rotação de culturas, estudando sistemas de cultura para esta espécie. Cattelan et al. (1997), avaliando o efeito de oito sistemas de rotação de culturas com soja e milho no verão e trigo, aveia e tremoço no inverno, num Latossolo Vermelho de Londrina, Paraná, encontraram correlação positiva entre a biomassa microbiana e a população fúngica do solo na camada de 8 a 20 cm, com o rendimento de grãos de soja.

A sucessão de cultivos distintos contribui para a manutenção do equilíbrio dos nutrientes no solo e para o aumento da sua fertilidade, além de permitir melhor utilização dos insumos agrícolas (Carvalho et al., 2004). Evitando-se a utilização de plantas de mesma família, como por exemplo, gramínea sobre gramínea ou leguminosa sobre leguminosa, sucessivamente na mesma área, pode-se evitar o esgotamento de determinado elemento químico no solo, como o nitrogênio (Santos & Reis, 2001), por exemplo, no caso das gramíneas.

Santos & Tomm (1998) encontraram após dez anos da utilização do sistema de plantio direto e sistemas de rotação de culturas para a cevada, uma elevação do teor de matéria orgânica, fósforo e potássio, na camada de 0-5 cm de profundidade, em comparação com a camada de 15-20 cm, sendo que uma relação inversa foi encontrada com o teor de alumínio trocável.

Devido às características produtivas do Estado do Rio Grande do Sul, a rotação soja (*Glixine max* L.) / milho (*Zea mays* L.) é uma excelente alternativa para resolver os problemas gerados pela monocultura (Fundacep Fecotrigo, 1998). A introdução da soja, por ser uma leguminosa de alta capacidade de fixação biológica de nitrogênio no solo, num esquema de rotação de culturas, é uma opção indiscutível quando se deseja a implantação de gramíneas de estação fria em sucessão. O milho, por sua vez, além da ampla adaptação climática, tem alta capacidade de produção de matéria seca e produtividade de grãos, o que contribui favoravelmente ao aporte de carbono ao solo (Fiorin, 2001), além de ser excelente alternativa no controle de pragas, como os nematóides e doenças fúngicas de solo (Souza & Melo, 2003; Cividanes & Barbosa, 2001).

Segundo Venzke Filho (2003), o emprego de plantas com sistemas radiculares diferentes, como o milho e a soja, beneficia a sustentabilidade do sistema plantio direto do ponto de vista biológico, por alternar efeitos sobre as propriedades físicas (facilitar as trocas gasosas e aumentar a entrada de matéria orgânica em profundidade) e também do ponto de vista bioquímico do solo, pela disponibilidade de carbono e nitrogênio lábil.

O cultivo de forrageiras para cobertura do solo ou utilização como pastagens de inverno pode reduzir as perdas de água, infestação de plantas daninhas e temperatura do solo, além de conservar a umidade do solo e promover a reciclagem de nutrientes, favorecendo a germinação e desenvolvimento das culturas de verão implantadas em sucessão (Derpsch et al., 1985; Entz et al., 2002; Bragagnolo & Mielniczuk, 1990). Plantas com sistemas radiculares profundos utilizadas como forrageiras, como o nabo e a cevada, podem ajudar a aliviar os efeitos da compactação do solo, especialmente em sistemas de plantio direto, sem revolvimento do solo (Williams & Weil, 2004). Ainda, sistemas de rotação de culturas envolvendo plantas forrageiras e plantas graníferas, promovem efeitos benéficos ao meio ambiente, como seqüestro de carbono e diminuição da lixiviação de nitratos, pela utilização do residual da adubação utilizada nas culturas de grãos.

A escolha das espécies vegetais para introduzir nos sistemas de culturas depende basicamente da adaptação das mesmas às condições edafoclimáticas de cada região e do interesse do agricultor. As gramíneas, pela maior taxa de cobertura do solo nos estágios iniciais de desenvolvimento e decomposição mais lenta, protegem melhor o solo do que espécies não gramíneas, além do efeito de agregação do solo, devido à forma e distribuição do sistema radicular (Mitchell & Tell, 1977; Derpsch et al., 1985). Espécies forrageiras como a aveia preta e o nabo forrageiro apresentam-se como boas opções para melhorar as características de solos com compactação subsuperficial (150 a 185 mm de profundidade),

mostrando vigor no crescimento de raízes dentro e abaixo da camada compactada do solo (Muller et al., 2001).

Derpsch et al. (1985) avaliaram em nível de campo o efeito de diferentes plantas utilizadas como cobertura verde de inverno, em sistema plantio direto, na temperatura e umidade do solo e na produtividade de grãos de soja, milho e feijão. As plantas utilizadas como cobertura foram: tremoço branco, ervilhaca peluda, chícharo, centeio, aveia preta, trigo, nabo forrageiro, colza e girassol. Os maiores valores de umidade do solo foram constatados onde havia aveia preta. Os menores valores de temperatura também foram encontrados onde a aveia preta era cultivada. O rendimento de grãos de soja foi influenciado pelo resíduo de cultura de inverno, sendo que a maior produtividade foi encontrada também onde havia resíduo de aveia preta.

As gramíneas são plantas capazes de, diversas vezes durante o ano, acumular em suas raízes e na base de seus talos, reservas suficientes que lhes permitam um novo rebrote após cada corte (Voisin, 1974), daí a sua grande resistência ao pisoteio e adaptação ao pastoreio animal. Já as leguminosas são plantas com alta capacidade de fixação biológica de nitrogênio, o que é extremamente importante quando se pensa em implantar uma gramínea como o milho em sucessão, além de ser importante fonte de proteína para a produção animal (Mello, 1998).

As espécies leguminosas, como o trevo vesiculoso e a ervilhaca, também se prestam ao pastoreio direto, porém devido à sua susceptibilidade a danos por pisoteio e a problemas de timpanismo, no caso do trevo, devem ser tomados cuidados quanto ao seu manejo e utilização como cultura pura. Uma alternativa é o consórcio com espécies gramíneas e leguminosas, como a aveia preta, o azevém e a ervilhaca. A aveia preta possui ciclo mais precoce em relação ao azevém, o que determina uma boa quantidade média de forrageira durante o período invernal (Comissão..., 2000).

Além disto, o consórcio de espécies leguminosas e gramíneas de inverno, como a ervilhaca e a aveia preta, proporciona acúmulo de nitrogênio na fitomassa do sistema semelhante ao cultivo solteiro desta leguminosa, relação carbono/nitrogênio intermediária aos cultivos isolados de gramíneas e leguminosas, além de maior produção total de material seca que a leguminosa cultivada isoladamente (Giacomini et al., 2003; Aita et al., 1994).

Júnior et al. (2003) encontraram maior produção de matéria seca cultivando consórcios entre espécies hibernais (aveia preta, azevém, nabo forrageiro e ervilhaca) do que em cultivos solteiros. Os autores atribuem o maior rendimento dos consórcios à maior eficiência na utilização dos recursos do meio (água, luz e nutrientes), que provém da

ocupação de nichos diferentes entre espécies, tanto na parte aérea quanto na parte do sistema radicular das plantas.

Os diversos trabalhos executados comprovam que o sistema plantio direto, aliado a um esquema de rotação de culturas bem planejado, executado e com práticas que visem a conservação do solo, sem preocupação com o imediatismo do mercado financeiro, é a maneira mais correta e sócio-economicamente viável de se obter a sustentabilidade de sistemas agrícolas, independente do tamanho da área e da cultura ou produto explorado.

2.2 INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA

O termo integração lavoura-pecuária pode ser definido como um sistema que integra as duas atividades com os objetivos de maximizar racionalmente o uso da terra, da infra-estrutura e da mão-de-obra, diversificar e verticalizar a produção, minimizar custos; diluir os riscos e agregar valores aos produtos agropecuários, através dos recursos e benefícios que uma atividade proporciona à outra (Mello, 2003).

No Rio Grande do Sul, a diversificação das atividades de uma propriedade, introduzindo um sistema que gere renda no período invernal é de fundamental importância para garantir e manter a sustentabilidade da atividade agropecuária, já que a produção de grãos e a criação de bovinos, praticadas de forma isolada, podem ser sustentáveis em determinadas épocas, porém não são garantidas por muito tempo, visto que são atividades cíclicas onde ora os grãos ora a carne é beneficiada, em termos de rendimentos econômicos (Cassol, 2003).

O sistema de integração-lavoura pecuária é uma prática comum no sul do Brasil e viabilizou-se com o desenvolvimento e consolidação do sistema de plantio direto, o qual permitiu a exploração de novas áreas agrícolas, consideradas antes inaptas para o cultivo de grãos, devido a fatores de uso e conservação do solo (Costa et al., 2004). Áreas onde seria impossível se realizar qualquer tipo de manejo de solo que necessitasse revolvimento, hoje são cultivadas e produtivas graças ao sistema plantio direto.

A integração lavoura-pecuária tem gradativamente ganhado impulso, especialmente em função da diversificação da atividade produtiva e dos benefícios recíprocos em termos de melhoria da produtividade de ambas as atividades. Com a premissa básica do SPD de não deixar nunca o solo descoberto e a utilização de forrageiras inverniais para

cobertura do solo, abriu-se uma oportunidade nova para o aproveitamento destas plantas forrageiras na atividade da bovinocultura (Salton et al., 1998).

A soja é a principal cultura de grãos utilizada no verão em sistemas de integração lavoura-pecuária, pois além de sua ampla adaptação edafoclimática, é também uma das mais seguras e rentáveis opções. No Estado do Rio Grande do Sul, a área cultivada com soja aumentou em aproximadamente um milhão de hectares nos últimos 5 anos, sendo que grande parte dessa área era anteriormente mantida sob vegetação nativa (IBGE, 2005; MAPA, 2005; CONAB, 2005a).

O plantio de cereais de inverno, principalmente o trigo (*Triticum aestivum*), tem cada vez mais perdido área para a produção de forrageiras utilizadas tanto como cobertura verde, pastejo direto, alimento in natura ou para a produção de fenos. Isso se deve a relativa instabilidade na comercialização do cereal, as adversidades climáticas cada vez mais severas, e principalmente devido ao alto custo de produção por hectare, que na safra agrícola de 2004 chegou a R\$ 1.467,00 (CONAB, 2005b), enquanto o custo de um hectare de aveia preta não passou de R\$ 157,00 (Mori, 2004).

As vantagens do sistema de integração de lavouras produtoras de grãos no verão e pastagens cultivadas no inverno são várias. Entre as principais podemos citar as melhorias nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Com a rotação lavoura-pastagem, evita-se a monocultura, eliminam-se camadas superficiais compactadas pelo pisoteio bovino, bem como se incorporam resíduos animais (esterco e urina) que são ricos em nutrientes, raízes e palhadas de grãos e forrageiras, estimulando-se a vida do solo pelo incremento de material orgânico.

O controle de pragas, doenças e plantas daninhas é favorecido pela quebra do ciclo dos fitopatógenos e pela rotação de culturas. Ocorre também um aproveitamento pela pastagem do adubo residual, que foi aplicado na cultura de verão, além do aumento da eficiência e utilização do maquinário agrícola da propriedade, os quais terão uma otimização do uso por maior período de tempo durante o ano (Vilela et al., 2001; Peixoto et al., 1997).

Apesar de proporcionar uma oportunidade a mais de lucro na propriedade, diversificar a utilização do solo e contribuir para a exploração de áreas que não são cultivadas no inverno, uma boa parte dos agricultores, especialmente os oriundos de regiões tradicionalmente produtoras de grãos, ainda são receosos quanto à entrada de bovinos em áreas de lavoura, devido ao potencial efeito deletério da compactação do solo causada pelo pisoteio, na produtividade de grãos das culturas de verão subseqüentes.

Porém, com um correto manejo da pastagem, com uma carga animal adequada e com um bom resíduo final de matéria seca de plantas para cobertura do solo, o sistema de integração lavoura-pecuária não apresenta nenhum tipo de restrição, mesmo em solos argilosos, que são mais suscetíveis ao processo (Cassol, 2003). Afirmarões como esta são fortalecidas por resultados de pesquisa, como observou Da Ros et al. (1996), que trabalhando com milho e soja na safra de verão e trigo, aveia, azevém e ervilhaca (consorciadas ou isoladas) pastejadas durante o inverno, ao longo de quatro anos, não encontraram variaçãõ significativa na densidade média do solo, na camada de 0 a 15 cm de profundidade.

Bassani (1996), trabalhando com pastoreio contínuo em pastagem de aveia preta e azevém, num Argissolo Vermelho-amarelo da Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul, no período de junho a outubro, constatou que o nível de compactaçãõ impresso pelo pisoteio bovino não foi suficiente para causar reduçãõ significativa na produtividade de grãos de milho cultivado em sistema plantio direto.

Assmann et al. (2003), realizando pastoreio contínuo no período de julho a outubro em pastagem formada por aveia preta, azevém e trevo branco, adubadas com nitrogênio, também não encontraram diminuiçãõ da produtividade de grãos da cultura do milho, em sistema plantio direto, num solo classificado como uma associaçãõ Latossolo Bruno álico + Cambissolo Álico.

Com um manejo racional das pastagens e do solo, pode-se obter bons resultados de ganho de peso com os animais e ainda pode-se adicionar uma boa quantidade de palhada para o SPD da cultura de verão em sucessãõ. Em sistema plantio direto na integraçãõ lavoura-pecuária, recomendações importantes devem ser consideradas, como a retirada dos animais da pastagem e o não uso de maquinário muito pesado quando o solo estiver muito úmido (acima do ponto de friabilidade), adoçãõ de rotaçãõ de culturas com grande aporte de palhada ao sistema e um intervalo adequado de tempo entre a retirada dos animais e o estabelecimento da cultura de verão, para permitir o crescimento da cultura de inverno que estava sendo pastejada, para que não haja o comprometimento da produçãõ de grãos da cultura de verão (Albuquerque et al., 2001).

Clark et al. (2004) relatam que o pastejo bovino em resteva de lavoura de milho causa mínimo decréscimo na produtividade de grãos de soja em seqüência, e que os benefícios advindos da utilizaçãõ dessa resteva como fonte de alimento de custo inexpressivo para o gado devem ser considerados, uma vez que o maior custo na produçãõ de novilhos jovens em confinamento é a alimentaçãõ.

Segundo Mello (1998), a área de pastagem na integração lavoura-pecuária deve ser diferida entre 45 a 50 dias antes da semeadura da soja e/ou milho, para garantir uma quantidade de matéria seca entre 2 a 3 mil kg ha⁻¹, o que oferece uma boa cobertura do solo e ainda, pelo crescimento radicular das plantas, uma certa recuperação da densidade do solo.

Cassol (2003), trabalhando com uma pastagem composta por aveia preta + azevém, manejada a uma altura de pastejo de 40 cm, não encontrou diferença significativa na produtividade de grãos de soja em sistema plantio direto, em comparação com área não pastejada, num Latossolo de textura muito argilosa. O mesmo autor concluiu ainda que uma massa de forragem de 3.000 kg ha⁻¹ de matéria seca é suficiente para promover altos desempenho animal e produtividade de grãos de soja, constituindo aí o ponto de equilíbrio do sistema.

Estudando a lucratividade e o risco de sistemas de produção de grãos combinados com pastagens de inverno, num Latossolo Vermelho-Escuro distrófico sob plantio direto, Ambrosi et al. (2001) concluíram que o sistema de integração lavoura-pecuária com um inverno de lavoura de trigo e um de pastagem composta por aveia preta + ervilhaca foi economicamente superior aos sistemas de integração com dois invernos de pastagem e um de lavoura e o sistema com somente lavoura de inverno, o que mostra a engorda de gado no período de inverno como uma alternativa positiva para rotacionar com a lavoura de trigo, na região do Planalto Médio e Missões do Estado do Rio Grande do Sul.

Após oito anos do estabelecimento de sistemas de produção com culturas produtoras de grãos e forrageiras sob pastejo, Spera et al. (2004) não encontraram efeito do pisoteio bovino durante o pastoreio de inverno suficiente para prejudicar o rendimento de grãos das culturas de soja e milho cultivados em seqüência, em um Latossolo Vermelho distrófico típico sob plantio direto. Os autores não encontraram correlação significativa entre a produtividade das culturas e os atributos físicos do solo, exceto para a macroporosidade do solo na cultura da soja na camada de 0-5 cm de profundidade.

Comparando métodos de preparo do solo em áreas com e sem pastejo intensivo em pastagem constituída por trevo-subterrâneo, Uhde et al. (1996) não encontraram diferenças significativas na produtividade de grãos de milho cultivado posteriormente à pastagem. As médias encontradas no estudo demonstraram o efeito benéfico do sistema plantio direto, onde o mesmo produziu 1.000 kg ha⁻¹ de grãos a mais em comparação com o sistema de preparo convencional, na área onde o trevo-subterrâneo foi pastejado.

Os efeitos do pisoteio animal em regime de pastejo contínuo durante 107 dias, em pastagem de aveia preta e azevém, e o impacto do sistema de plantio direto e convencional no

estado de compactação do solo e produtividade de milho foram estudados por Silva et al. (2000), num Argissolo Vermelho-amarelo de textura superficial franca. Os resultados de produtividade de milho obtidos (4,55 Mg ha⁻¹ de grãos e 34,66 Mg ha⁻¹ de silagem) demonstraram não haver influência significativa nem do pisoteio bovino nem do tipo de manejo do solo.

Fontaneli & Piovezan (1990), trabalhando com pastagens de aveia preta, após a realização de dois cortes simulando pastoreio bovino, sendo que em cada um destes cortes obteve rendimentos de 1.100 e 2.281 kg ha⁻¹ de matéria seca, ainda obteve um resíduo para a cultura em sucessão de 1.814 kg ha⁻¹ de matéria seca, demonstrando aí a potencialidade deste tipo de manejo. Com esse rendimento de forragem, e um manejo adequado dos animais, dificilmente um sistema de integração lavoura-pecuária teria problemas de compactação do solo e produtividade de grãos das culturas exploradas posteriormente ao período de pastoreio.

Segundo Bortolini et al. (2004), a utilização de cereais de inverno no sistema de duplo propósito permite fornecer forragem verde aos animais no período crítico de carência alimentar, além de aumentar a estabilidade da receita da produção pela melhoria na qualidade e produtividade dos grãos dos cereais de inverno. Os autores testaram a produção de forragem, com um, dois ou nenhum corte, em genótipos de aveia branca, aveia preta, trigo, triticale, centeio e cevada. Concluíram que a produção de matéria seca foi maior quando da realização de dois cortes, além da melhoria do peso do hectolitro em todos os genótipos.

Assmann et al. (2004) avaliaram o efeito de quatro doses de adubação nitrogenada (0, 100, 200 e 300 kg N ha⁻¹) numa pastagem constituída por aveia preta e azevém, na presença ou ausência de trevo branco. Os autores concluíram que a elevação das doses de nitrogênio aumentaram de forma linear crescente o acúmulo e a produção de matéria seca da pastagem, e também a carga animal e o ganho de peso vivo por hectare de bovinos aumentaram com o incremento de nitrogênio. Os mesmos afirmam que em sistema de integração lavoura-pecuária, o consórcio forrageiro entre gramíneas (aveia preta + azevém) e leguminosas (trevo branco) de estação fria, possibilita o aumento do período de pastejo e que em consequência, o rendimento animal em ganho de peso.

2.3 POTENCIAL DE PRODUÇÃO ANIMAL EM PASTAGEM CULTIVADA

O Estado do Rio Grande do Sul possui condições climáticas e de solos que lhe permite o cultivo de espécies agrícolas durante o ano inteiro. Na safra de verão as principais culturas exploradas são a soja e o milho, ocupando uma área de aproximadamente 6 milhões de hectares, enquanto que no inverno estima-se que apenas 1,3 milhões de hectares sejam utilizados com culturas para grãos e forragens (Lupatini & Martinichen, 1998). Isto demonstra que uma grande parte da área cultivada no verão não é explorada no inverno, deixando de gerar renda para a propriedade e contribuindo para a má conservação dos solos.

No entanto, essas áreas poderiam ser perfeitamente cultivadas com espécies forrageiras como a aveia preta e o azevém, por exemplo, servindo como pastagem para bovinos de corte e leite (Roso et al., 2000; Martins et al., 1996; Comissão..., 2000). A aveia preta apresenta um rápido crescimento inicial, permitindo altos rendimentos no primeiro pastoreio, enquanto o azevém possui um ciclo mais tardio e tem uma maior facilidade de ressemeadura natural, resistência a doenças, bom potencial de produção de sementes e versatilidade no uso em consorciações (Floss, 1998). É devido a essas e outras boas características que fazem com que a aveia preta e o azevém sejam as espécies mais cultivadas no inverno do Rio Grande do Sul, sendo largamente utilizadas para pastejo (Lupatini & Martinichen, 1998).

O melhor aproveitamento dos resíduos da adubação das culturas de verão antecessoras às forrageiras, bem como uma reciclagem de nutrientes por estas plantas, faz com que o custo de implantação e manutenção das pastagens seja reduzido. Espécies como o azevém e a aveia preta apresentam ampla faixa de adaptação edafoclimática, além de boa resistência ao pisoteio animal e elevada facilidade de ressemeadura natural, de um ano para o outro (Roso et al., 2000).

O aporte de dejetos animais também é um fator relevante na melhoria da qualidade do solo (Voisin, 1974), como a matéria orgânica ou a ciclagem de nutrientes, principalmente em manejos com alta pressão de pastejo em áreas subdivididas, desde que bem planejados e executados.

O sucesso do investimento realizado na instalação de pastagens cultivadas está intimamente relacionado com a escolha de espécies forrageiras de elevada produção e qualidade de matéria seca, com o manejo realizado (frequência e pressão de pastejo) e com o uso de animais de alto potencial de resposta (Restle et al., 1999).

Resultados como os obtidos por Canto et al. (1997), que trabalhando com uma consorciação de aveia preta-azevém-ervilhaca, sem adubação nitrogenada, obtiveram ganho de peso médio diário de 1,21 kg dia⁻¹, demonstram que o potencial de lucratividade do sistema é elevado e, em determinados casos, a margem de receita pode ser maior que a obtida em lavouras produtoras de grãos.

Quadros & Maraschin (1987), trabalhando com misturas de azevém-trevo-cornichão no município de Guaíba – RS, obtiveram ganho de peso médio diário de 1,02 kg dia⁻¹, com terneiros cruza Charolês com idade de 6 a 12 meses. Os autores observaram ainda, que mesmo trabalhando com elevada pressão de pastejo os resíduos mantiveram-se elevados, propiciando altos ganhos por animal, e conseqüentemente, maior retorno financeiro.

Também avaliando a produção animal em pastagens com misturas de gramíneas de estação fria composta por triticale e azevém, Roso (1998) obteve resultados de ganho de peso médio diário de 0,8 kg dia⁻¹, com carga animal média de 1153 kg PV ha⁻¹ (kg de peso vivo por hectare), proporcionando um lucro líquido de R\$ 224,76 por hectare.

Grise et al. (2002), manejando uma pastagem constituída por aveia preta e ervilha forrageira sob diferentes alturas, obtiveram ganho de peso vivo de 356 kg ha⁻¹. Concluíram ainda que maiores resíduos de matéria seca e melhor cobertura do solo foram alcançados com alturas da pastagem em torno de 18 cm, o que favoreceu a interceptação da água da chuva e reduziu os riscos de erosão. O manejo do pastejo deve ser direcionado, segundo os autores, no sentido de se obter os melhores resultados em produção animal com os maiores índices de cobertura do solo, principalmente em solos mais arenosos, devido a maior susceptibilidade à degradação física que este tipo de solo possui quando se encontra descoberto.

Avaliando a produção animal, o custo e a eficiência alimentar de terneiros de corte da raça Charolês, em pastagem de aveia preta e azevém, Silva et al. (2004) obtiveram ganho de peso médio diário de 0,99 kg animal dia⁻¹ e ganho de peso vivo de 447 kg PV ha⁻¹. Os índices encontrados determinaram uma eficiência alimentar da ordem de 8,5 kg MS kg PV⁻¹, o que proporcionou um lucro líquido de 36,46 kg PV ha⁻¹.

Marchezan et al. (2002), testando três doses de adubação NPK em pastagem composta por azevém, trevo branco e cornichão, cultivada em solo de várzea sistematizada, obtiveram ganho de peso médio diário de 1,06 kg animal⁻¹ e um ganho de peso total de 500 kg PV ha⁻¹, com terneiros de idade entre 8 e 10 meses, sob pastejo contínuo por um período de 120 dias.

A utilização de consorciações entre forrageiras invernais, tanto entre espécies de mesma família como principalmente entre espécies de famílias diferentes, é uma alternativa que deve ser levada em consideração, do ponto de vista econômico e ecológico. Fontaneli & Santos (1999) obtiveram ganho de peso animal em pastagem formada por um consórcio entre aveia preta e ervilhaca significativamente superior ao ganho obtido em pastagem de aveia preta solteira, em média de seis anos de avaliações de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens anuais de inverno sob plantio direto, na região do Planalto do Estado do Rio Grande do Sul.

O ganho de peso vivo obtido por Restle et al. (1999), em pastagem composta por triticale e azevém foi de 650 kg PV ha⁻¹, em pastejo contínuo no período de junho a outubro, utilizando terneiros raças Charolês, Nelore e suas cruzas. Após o término do período de pastejo, a pastagem apresentou resíduo final de 1420 kg ha⁻¹ de matéria seca, resultando em eficiência alimentar de 12,7 kg MS kg PV⁻¹. O teor de proteína bruta oferecida pela mistura forrageira foi de 29,5 %, aproximadamente duas vezes mais que a necessidade mínima dos bovinos.

Restle et al. (2000), trabalhando com vacas de quatro anos de idade terminadas em pastagem cultivada formada por triticale e azevém, submetida a pastejos horários e níveis de suplementação energética composta por grãos de sorgo triturado, obtiveram elevados valores de ganho de peso médio diário, da ordem de 1,61 kg dia⁻¹. Apesar de os valores de ganho de peso terem sido maiores com a utilização de suplementação energética, os autores concluíram que a suplementação com grãos de sorgo triturado não proporcionou incremento significativo no ganho de peso médio diário de vacas em terminação. A pastagem cultivada de inverno submetida ao pastejo horário, desde que o tempo de pastejo seja adequado e a massa de forragem apresente boa disponibilidade e qualidade, é uma excelente opção para a terminação de vacas com 4 anos de idade.

Em pastagem cultivada de inverno formada por azevém, trevo branco e cornichão, em solo de várzea sistematizada, Marchezan et al. (2002) testou o efeito de diferentes níveis de adubação no desempenho animal de terneiros raça Charolês com 8 a 10 meses de idade. O rendimento de matéria seca e o ganho de peso médio diário não diferiram significativamente, apresentando valores médios de 2461 kg ha⁻¹ de matéria seca e 1,01 kg animal dia⁻¹.

Cassol (2003), trabalhando com diferentes alturas de manejo da pastagem formada por aveia preta e azevém implantadas sob plantio direto, obteve ganho de peso médio diário de 1,22 kg dia⁻¹ com altura de 20 cm, com bovinos machos de 8 a 9 meses de idade em pastejo contínuo, no período de maio a novembro.

Comparando a produção animal de machos mestiços da raça Canchim com idade média de 10 meses em três diferentes pastagens de gramíneas (*Brachiaria brizantha* Cv Marandu, *Setaria anceps* Cv Kazungula e *Cynodon dactylon* Cv Coastcross) no Estado do Paraná, Postiglioni (1996) obteve ganho de peso de 355 kg ha⁻¹ com a Coastcross e 307 kg ha⁻¹ com a Marandu, significativamente superiores aos 223 kg ha⁻¹ obtidos com a Kazungula. Os ganhos médios diários por animal encontrados (0,61 kg dia⁻¹ para Marandu e 0,59 kg dia⁻¹ para Coastcross) foram superiores aos apresentados pela setária (0,38 kg dia⁻¹). As espécies estudadas possuem alto potencial produtivo e são adaptadas a diferentes condições de clima e solo, ampliando as opções forrageiras para a produção de gado de corte no sul do país.

Rocha et al. (2003) estudaram o custo e o desempenho animal de terneiras cruza Charolês x Nelore, de 9 meses de idade, submetidas ao pastejo contínuo com lotação variável, em pastagem de aveia preta e azevém sob plantio direto submetidas a três diferentes complementos, que foram: 300 kg ha⁻¹ de nitrogênio; grãos de sorgo moído na quantidade de 1 % do peso vivo dos animais; e consórcio com leguminosa (trevo vesiculoso) + 150 kg ha⁻¹ de nitrogênio. O desempenho individual expresso em ganho de peso médio diário não apresentou diferenças entre os tratamentos, apresentando valores em torno de 0,75 kg animal dia⁻¹. Já os ganhos por área, mostraram maior produção com a utilização de grãos de sorgo moído (602 kg PV ha⁻¹), não diferindo do obtido com 300 kg ha⁻¹ de nitrogênio (534 kg PV ha⁻¹), que não diferiu do obtido com a utilização do consórcio com a leguminosa trevo vesiculoso (485 kg PV ha⁻¹). Quanto aos valores de custo benefício, os autores concluíram que a utilização de trevo vesiculoso + 150 kg ha⁻¹ de nitrogênio representou a alternativa mais eficiente economicamente, apresentando uma relação de R\$ 1,39 de retorno para cada R\$ 1,00 investido.

Segundo Voisin (1974), a produtividade de uma pastagem submetida a diferentes frequências de pastoreio é baixa quando o tempo de ocupação da pastagem pelos animais for suficientemente longo para permitir que na mesma rotação o animal corte a mesma planta pela segunda vez. O autor afirma que em pastoreio contínuo a produtividade da pastagem é aproximadamente três vezes menor do que a obtida em pastoreio rotativo bem conduzido.

A frequência entre cortes ou pastejos empregados numa pastagem determina a quantidade e a qualidade de forragem produzida (Gomes & Reis, 1999), significando que cortes ou pastejos em elevadas frequências podem diminuir significativamente a produção forrageira, afetando diretamente o desempenho animal e favorecendo o processo de compactação do solo devido ao baixo aporte de palhada e cobertura do solo.

O sistema de pastoreio rotativo tem como objetivos aumentar a produção de forrageira por hectare, aumentar a eficiência do uso da forrageira produzida (uma alta percentagem de forragem produzida é consumida), elevar ao máximo o tempo de utilização ou vida útil de uma pastagem, elevar os índices de produção animal por hectare, seja de carne ou leite, e principalmente, proporcionar ao produtor o alcance de uma margem de lucro considerável, com baixo nível de risco do negócio. Esses objetivos porém, para serem alcançados, vão depender de alguns fatores, como o planejamento da atividade, o investimento realizado e a habilidade de gerenciamento do produtor (Sollenberger & Chambliss, 1989).

Lenzi (2003), comparando o pastoreio contínuo (PC) com o pastoreio racional Voisin (PRV), em pastagem de capim colômbio no Estado do Paraná, obteve um desempenho animal individual, em forma de ganho de peso vivo médio diário, de 0,93 kg para o PC e 0,83 kg para o PRV. O melhor desempenho individual dos animais em pastoreio contínuo foi atribuído à menor carga animal exercida, o que proporcionou aos animais a possibilidade de seleção na sua dieta, pois a competição com outros animais é insignificante. Porém, o desempenho animal por unidade de área, em ganho de peso por hectare, demonstrou que o PRV foi 23 % superior ao PC, produzindo 220 e 179 kg ha⁻¹, respectivamente. O autor concluiu ainda que o PRV apresentou maior taxa de crescimento da pastagem e maior produção de matéria seca por hectare, o que viabilizou uma maior carga animal durante o período de pastejo, elevando o rendimento por área e permitindo um uso mais eficiente do solo e dos recursos forrageiros.

Analisando os diversos componentes da cadeia produtiva agropecuária, nota-se que realmente é possível melhorar a renda das propriedades rurais que não exploram adequadamente suas áreas durante o inverno. Além de proporcionar lucro, a engorda de bovinos de corte em pastagens cultivadas de inverno contribui para a conservação e melhoria da qualidade do solo, pois o mesmo não estará mais ocioso ou sem utilização, não ficando mais exposto às condições adversas do clima (Mello, 2003).

2.4 PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO ALTERADAS PELO SEU MANEJO E PELO PISOTEIO BOVINO

O ambiente solo, compreendido por suas fases sólida, líquida e gasosa, originalmente, encontra-se num estado de equilíbrio, onde organismos vivos (micro, meso e macro) se desenvolvem, raízes de plantas retiram nutrientes da matéria orgânica e dos minerais do solo para o seu desenvolvimento, e o ar e a água movimentam-se sem maiores impedimentos.

O manejo do solo, realizado para que o cultivo de plantas seja realizado, altera as suas propriedades, em relação ao solo que nunca foi cultivado, como um campo nativo, por exemplo. Tais alterações são mais pronunciadas em sistemas de preparo convencionais do que em sistemas conservacionistas, que visam manter o solo protegido e com qualidade (Bertol et al., 2004).

Um dos principais problemas evidenciados em áreas de integração lavoura-pecuária é a diminuição da produção de forragem das pastagens cultivadas e da produtividade de grãos das culturas implantadas posteriormente ao período de pastejo. O baixo desempenho das plantas é devido ao processo de compactação do solo, que segundo Baver et al. (1973) pode ser definido como um processo dinâmico do mesmo, onde ocorre um aumento da sua densidade, em resposta a cargas ou pressões exercidas. A compactação do solo causada pelo intenso tráfego de máquinas e implementos agrícolas e pelo pisoteio animal tem sido apontada como uma das principais causas da degradação de áreas cultivadas em sistemas de integração lavoura-pecuária (Albuquerque et al., 2001; Cubilla et al., 2002).

O bovino pode em determinadas situações, ser o principal agente compactador do solo, tendo inclusive maior efeito do que o maquinário utilizado nas operações agrícolas. Segundo Schneider et al. (1978), um bovino com peso de 70 a 500 kg exerce uma pressão de compactação de 0,73 a 2,27 kg cm⁻² e um trator de esteira de 0,08 a 0,15 kg cm⁻². Comparando os valores, o mesmo autor atribui a maior compactação do solo causada pelos bovinos pelo fato de seu peso ser distribuído em uma menor área atingida pelo seu casco.

O grau de compactação provocado pelo pisoteio bovino é influenciado pela textura do solo (Correa & Reichardt, 1995), sistema de pastoreio (Leão et al., 2004) e tempo de permanência dos bovinos na área da pastagem (Bassani, 1996), taxa de oferta de forragem ou altura de manejo da pastagem (Cassol, 2003), categoria e carga animal por hectare (Moraes & Lustosa, 1997), quantidade de resíduo vegetal sobre o solo (Braidá et al., 2004) e umidade do solo (Betteridge et al., 1999).

No entanto, o efeito do pisoteio animal sobre as propriedades físicas do solo é limitado às camadas mais superficiais do solo (Trein et al., 1991; Bassani, 1996; Cassol, 2003), podendo ser temporário e reversível (Moraes & Lustosa, 1997; Cassol 2003).

Segundo Broersma et al. (2000) a compactação do solo poderá acontecer devido ao pisoteio bovino, porém esse processo dependerá da taxa de lotação animal, do tipo de vegetação pastoreada bem como seu estágio fenológico, do tipo de solo e do conteúdo de água no solo. Os efeitos dessa compactação são geralmente negativos, restringindo o desenvolvimento radicular, disponibilidade de nutrientes, água e aeração, e conseqüentemente reduzindo a produtividade das plantações.

Dentre as propriedades físicas do solo alteradas pelo seu manejo e pelo processo de compactação, a densidade, a taxa de infiltração de água, a resistência à penetração, a porosidade e a agregação do solo, possuem dinâmicas alteráveis num curto espaço de tempo, como um ciclo de produção de uma determinada cultura ou um pastoreio intensivo, por exemplo, e são consideradas boas indicadores da qualidade física de solos (Leonardo, 2003).

2.4.1 DENSIDADE DO SOLO

A densidade do solo é um parâmetro que serve como índice de compactação do solo e é muito utilizada nas avaliações do estado estrutural dos solos (Scapini et al., 1998). Há indicações da existência de limites críticos de densidade do solo ao crescimento radicular, porém esses limites são variáveis para diferentes tipos de solos e plantas (Rubin et al., 1998). Valores críticos de densidade do solo são propostos por Reinert & Reichert (2001), onde para solos argilosos (mais de 55 % de argila) o valor seria aproximadamente $1,45 \text{ Mg m}^{-3}$; para solos de textura média (argila entre 20 e 55 %) $1,55 \text{ Mg m}^{-3}$ e para solos de textura arenosa (menos de 20 % de argila) o valor seria de $1,65 \text{ Mg m}^{-3}$.

Silva & Rosolem (2001) avaliaram o efeito da compactação subsuperficial do solo no crescimento radicular de seis espécies utilizadas como cobertura em sistemas de semeadura direta (aveia preta, guandu, milheto, mucuna preta, sorgo granífero e tremoço azul) e concluíram que os estados de compactação impostos em subsuperfície (150 a 185 mm) não impediram o crescimento de raízes das espécies utilizadas, o que indica que em solos arenosos a densidade crítica para essas espécies é superior a $1,6 \text{ Mg m}^{-3}$.

Apesar de serem comumente utilizadas para caracterizar o estado de compactação de um solo, a densidade, microporosidade e a porosidade total do solo não são adequadas para uma avaliação precisa de mudanças na estrutura do solo, sendo que outras propriedades do solo devem ser incluídas para essa avaliação. A resistência do solo à penetração e as características estruturais relacionadas à temperatura, aeração e água no solo são identificadas como as principais propriedades que influenciam a qualidade de um solo após sua compactação (Lipiec & Hatano, 2003).

Avaliando o efeito da densidade do solo sobre a disponibilidade de água às plantas, num Latossolo Vermelho, Klein & Libardi (2000) constataram que no referido solo o aumento na sua densidade, até $1,11 \text{ Mg m}^{-3}$ aumenta o armazenamento de água no solo, bem como a sua disponibilidade às culturas (condição onde a faixa de umidade menos limitante ao crescimento vegetal seria máxima), sendo que para valores superiores ocorre o inverso.

Logsdon & Karlen (2004) avaliaram as alterações provocadas na densidade de um Haplic Phaeozems, Cumulic-Haplic Phaeozems, e de um Calcaric Regosols, pela transição entre sistema de preparo convencional do solo para o sistema de plantio direto, e pela introdução de rotação de culturas com soja e alfafa, a partir de um sistema de monocultura de milho. Os autores concluíram que a transição do preparo convencional para o plantio direto e da monocultura para a rotação de culturas não causou nenhum impacto negativo na densidade do solo, bem como não demonstrou nenhum efeito na produtividade de grãos das culturas estudadas.

Flores (2004) não encontrou diferenças significativas na densidade e porosidade de um Latossolo submetido ao pastejo de inverno em pastagem constituída por aveia preta e azevém, manejada a alturas variando de 10 a 40 cm. No entanto, em comparação com áreas não pastejadas, a densidade do solo foi maior e a porosidade menor, mas sem comprometimento da produtividade de grãos de soja cultivada após o término do período de pastoreio.

A densidade do solo não sofreu alteração pelo pisoteio bovino na camada de 1,0-8,6 cm de profundidade, dentro de um sistema de manejo adotado com pastoreio contínuo e uma lotação média de $1,72 \text{ UA ha}^{-1}$ (UA = Unidade Animal, equivalente a 450 kg de peso vivo) e resíduo de matéria seca da pastagem de aveia preta e azevém de 1900 kg ha^{-1} , num Argissolo Vermelho-amarelo da Depressão Central do Rio Grande do Sul (Bassani, 1996).

Bertol et al. (1998), avaliando o efeito do pisoteio bovino em quatro níveis de pressão de pastejo (4, 8, 12 e 16 %), sobre as propriedades físicas de um Argissolo Vermelho-amarelo sob pastagem natural, encontraram os menores valores de densidade na camada de 0

a 3 cm de profundidade nos níveis mais baixos de oferta de forragem (4, 8 e 12 %), aumentando no nível mais alto (16 %). Já nas camadas de 3-6 e de 10-15 cm de profundidade, a relação foi inversa, ou seja, a densidade do solo aumentou com o aumento da pressão de pastejo.

Comparando o efeito do sistema de preparo convencional e do sistema plantio direto, em áreas que receberam pastoreio bovino contínuo em pastagem de aveia preta e azevém, Silva et al. (2000) concluíram que a densidade do solo foi mais influenciada pelo sistema de manejo do solo do que o pisoteio animal, considerando que o controle da carga animal foi ajustado ao crescimento da pastagem.

Clark et al. (2004) avaliaram os efeitos do pastoreio rotativo (28 dias de intervalo) de uma resteva de lavoura de milho nas propriedades físicas do solo e na produtividade de grãos de soja subsequente, em sistema plantio direto, durante três anos. A população de plantas de soja e o rendimento de grãos não foram afetados pelo pisoteio bovino, bem como a densidade do solo, que manteve valores muito próximos dos encontrados nas áreas não pastejadas.

Observando os resultados de pesquisa obtidos por diversos autores, pode-se concluir que a utilização de pastejo direto de animais em forrageiras ou resíduos de plantas pode causar alterações na densidade do solo, principalmente quando a umidade do solo for elevada. Porém em muitos casos, as alterações impostas pelo pisoteio bovino não comprometem o rendimento de grãos das culturas implantadas em sucessão.

Sabendo-se que cada tipo de solo possui um determinado conteúdo de umidade e uma determinada pressão exercida que leva a um estado de compactação máximo, medido pela densidade do solo, deve-se evitar manejar o solo ou realizar pastoreios quando o mesmo apresentar umidade acima do ponto de friabilidade. Outro aspecto muito importante é a atenuação da pressão exercida no solo pela palhada ou cobertura morta. Quanto maior a quantidade de resíduo mantido na superfície, mais protegido de sofrer compactação estará o solo (Lange, 2002).

2.4.2 INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO

Infiltração é o termo utilizado para o processo de entrada de água no solo, geralmente por fluxo descendente e por toda ou parte da superfície do solo. A taxa de infiltração de água é definida pelo volume de fluxo de água infiltrando por unidade de tempo. Esta afeta não somente a quantidade de água que será utilizada pelas comunidades de plantas, mas também a quantidade de água que escoará pela superfície do solo e o conseqüente processo de erosão do solo e descarga nos cursos d'água (Hillel, 1998).

O conhecimento da taxa de infiltração da água no solo é importante e utilizada para a correta escolha de sistemas de irrigação e drenagem, bem como para o seu dimensionamento. É importante também porque a taxa de infiltração de água permite avaliar a quantidade de chuva que efetivamente infiltra no solo e o possível escoamento superficial provocado pela mesma, assim como se pode também avaliar o tempo em que a água permanecerá empoçada na superfície do solo, mantendo-o alagado (Forsythe, 1975).

Vários métodos têm sido desenvolvidos e empregados para a determinação da taxa de infiltração da água. Estes métodos podem ser classificados de vários modos, de acordo com a maneira com que a água é aplicada, bem como pela maneira utilizada para realizar as medições. Basicamente pode-se caracterizar três diferentes tipos de infiltrômetros para a determinação da infiltração: infiltrômetros que utilizam a diferença entre a água aplicada e a água escoada superficialmente; infiltrômetros que mantêm a água confinada numa determinada área, proporcionando uma carga hidráulica sobre a superfície do solo, e infiltrômetros que permitem a determinação da infiltração a partir dos dados de escoamento superficial (Espínola, 1977).

A comparação entre métodos de campo para a determinação da infiltração de água no solo foi estudada por Pott & De Maria (2003), em três tipos diferentes de solo. Foram utilizados um infiltrômetro de aspersão, um permeâmetro, um infiltrômetro de tensão e um infiltrômetro de pressão, com dez repetições para cada um. Os autores concluíram que os métodos de avaliação comportaram-se diferentemente em cada tipo de solo. O permeâmetro e o infiltrômetro de pressão mostraram que a infiltração foi regida por propriedades como a densidade e a porosidade do solo, enquanto o infiltrômetro de aspersão foi mais governado pela cobertura e textura do solo.

O processo de infiltração depende, em maior ou menor grau, de diversos fatores. Propriedades físicas do solo, como a textura e estrutura principalmente, influenciam expressivamente a movimentação da água no solo, sendo o tamanho das partículas e a

macroporosidade os atributos mais importantes (Silva & Kato, 1997). O tipo e a quantidade de cobertura do solo, por evitar o impacto direto das gotas de chuva e pelos canais preferenciais formados pelo sistema radicular das plantas, também são fatores determinantes do processo de infiltração (Faria et al., 1998).

O manejo do solo, caracterizado pelo tipo de preparo do solo realizado para a operação de semeadura de plantas, exerce influência direta na taxa de infiltração. Métodos de preparos de solo onde a cobertura do solo é removida e a sua estrutura é alterada, como o preparo convencional, com operações de arações e gradagens, tendem a formar camadas encrostadas na superfície do solo, conhecido como selamento superficial, que diminui drasticamente a taxa de infiltração. Ao contrário deste, manejos de solo que visam a sua conservação, que mantêm resíduos vegetais em superfície e preservam ao máximo a sua estrutura, como o sistema plantio direto, apresentam-se mais favoráveis ao processo de infiltração de água (Brandão et al., 2003).

A taxa de infiltração de água no solo é considerada um bom indicativo da qualidade física do solo (Bertol et al., 2000), e quando reduzida a níveis muito baixos, aumenta o risco de erosão e de déficit hídrico e nutricional nas plantas, fazendo com que as raízes desenvolvam-se superficialmente, diminuindo a sua produtividade (Rosolem et al., 1994; Moraes et al., 1995).

Cintra et al. (1983), caracterizando o impedimento mecânico em um Latossolo Vermelho do Rio Grande do Sul, encontraram uma redução na taxa de infiltração de água, após 120 minutos, de 314 mm h^{-1} para 63 mm h^{-1} , em área de mata nativa e solo cultivado com a sucessão trigo/soja sob preparo convencional, respectivamente. Os autores concluíram que as alterações decorrentes do mau manejo a que o solo foi submetido (operações de lavração e gradagens, e queima de resteva de lavoura de trigo) apontam uma possível restrição ao desenvolvimento radicular das plantas, pela degradação da estrutura do solo e por danos causados pela erosão.

Alves & Cabeda (1999), usando chuva simulada com duas intensidades, estudaram a infiltração de água em um Argissolo Vermelho-escuro, submetido ao preparo convencional e ao sistema plantio direto. Os resultados demonstraram que o preparo convencional, com a superfície do solo desprotegida, favoreceu o selamento superficial do solo, o que se refletiu na maior taxa de decréscimo da infiltração, menor infiltração acumulada e menor taxa constante de infiltração. O preparo convencional, mesmo na menor intensidade de chuva estudada ($62,9 \text{ mm h}^{-1}$), apresentou taxa de infiltração 41 % inferior à encontrada para o plantio direto.

A infiltração de água no solo, cultivado com quatro sistemas de sucessão de culturas submetidas ao sistema de preparo convencional e plantio direto, foi estudada por Sobrinho et al. (2003), em Latossolo Vermelho distroférico. A sucessão soja/aveia em plantio direto foi o tratamento que apresentou maiores taxas de infiltração estável de água no solo.

O efeito de métodos de melhoramento da pastagem nativa gaúcha, na taxa de infiltração e perdas de solo e água, foi avaliado por Cassol et al. (1999), num Argissolo Vermelho-amarelo. Os métodos de melhoramento da pastagem foram constituídos pela introdução de aveia preta, azevém e trevo vesiculoso, pelas seguintes maneiras: a lanço (tratamento testemunha), com gradagem, com subsolagem, preparo convencional do solo, e plantio direto. A subsolagem foi o método que apresentou maior taxa de infiltração de água e conseqüentemente menor perda de água, seguido pelo plantio direto. Porém, com relação à perda de solo, o plantio direto apresentou uma perda de solo na razão de 17,25 vezes menor que no preparo convencional do solo e 4,5 vezes menor que no método constituído por subsolagem.

Trein et al. (1991) observaram que após a aplicação de uma alta taxa de lotação animal em curto período de tempo, houve aumento da resistência do solo à penetração, diminuição da macroporosidade e redução significativa da infiltração de água no solo na camada 0–7,5 cm de profundidade de um Argissolo Vermelho, cultivado com pastagens de inverno. Também Bertol et al. (1998) observaram resultados semelhantes ao avaliar diferentes taxas de ofertas de forragem de uma pastagem natural da Depressão Central do Rio Grande do Sul. Quando se aplicaram taxas menores de 4 e 8 %, em relação a taxas de 10 a 12 % de disponibilidade de forragem para cada 100 quilos de peso vivo por hectare, a redução na taxa de infiltração foi significativamente reduzida.

A taxa de infiltração de água no solo também foi estudada por Cassol (2003), em sistema de integração lavoura pecuária, num Latossolo Vermelho sob plantio direto. O efeito do pisoteio bovino, realizado em pastagem de aveia preta e azevém, induziu diminuição na taxa de infiltração quando a pastagem foi manejada a uma altura de 10 cm de resíduo. Houve um aumento diretamente proporcional na infiltração de água com o aumento da altura de resíduo da pastagem, evidenciando a degradação da qualidade do solo quando se utilizam elevadas pressões de pastejo, em sistema de pastoreio contínuo.

2.4.3 POROSIDADE DO SOLO

A aeração do solo é o processo pelo qual os gases produzidos ou consumidos no solo são trocados por gases da atmosfera. O principal gás consumido é o oxigênio, enquanto o principal gás produzido é o dióxido de carbono (de Jong van Lier, 2001). Os efeitos da compactação na aeração do solo são usualmente quantificados pela medida da porosidade do solo preenchida por ar, taxa de difusão de oxigênio, potencial redox e permeabilidade do solo. A porosidade do solo preenchida por ar é a mais comumente utilizada para avaliar a aeração, e valores menores que 10 % são considerados críticos ao desenvolvimento das plantas (Lipiec & Hatano, 2003).

Com os avanços tecnológicos da mecanização, onde o maquinário está cada vez maior e mais pesado e a intensificação da exploração agrícola, aliados ao desrespeito à condição de consistência friável, no momento de manejar o solo, o mesmo acaba sendo compactado, diminuindo a sua porosidade e aumentando a sua resistência à penetração (Tavares Filho et al., 2001). O processo de compactação reduz a macroporosidade do solo, aumenta a resistência ao crescimento radicular em condições de baixa umidade e reduz a oxigenação quando úmido, limitando o crescimento radicular e concentrando-o próximo à superfície (Muller et al., 2001), o que diminui o volume de solo explorado pelas raízes, tornando a planta mais susceptível aos déficits hídricos e com menor capacidade em absorver nutrientes (Rosolem et al., 1994).

Tanner & Mamaril (1959) estudaram a compactação do solo causada pelo pisoteio bovino em pastagem de alfafa. O efeito do tráfego animal resultou em 20 % de diminuição na produtividade da alfafa. Os autores concluíram ainda que a permeabilidade do solo ao ar e a penetrabilidade mostraram-se medidas mais sensíveis da compactação do solo, ao passo que a densidade e a porosidade total mostraram-se relativamente insensíveis.

A diminuição da porosidade, essencial ao desenvolvimento radicular, é decorrente da degradação da estrutura natural do solo, que favorece também o aumento da erosão hídrica (Faria et al., 1998). Inicialmente, a compactação do solo afeta os macroporos, estabelecendo inadequada difusividade dos gases do solo (Vizotto et al., 2000). Segundo Souza et al. (1994), culturas não adaptadas ao excesso de água no solo exigem um mínimo de 10 % de espaço aéreo para um desenvolvimento satisfatório.

O efeito de seis diferentes sistemas de preparo nas características da porosidade de um Argissolo Vermelho-amarelo foi avaliado por Schaefer et al. (2001). O sistema de semeadura direta foi o que apresentou melhor conexão entre os macroporos, evidenciando que neste sistema ocorre a preservação da estrutura do solo, sem revelar descontinuidade entre a superfície e as camadas inferiores do solo, o que conseqüentemente favorece também o processo de infiltração de água no solo.

As alterações nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho, provocadas por diferentes sistemas de uso e manejo (mata, lavoura de sequeiro e lavoura irrigada), foram avaliadas por Klein & Libardi (2002). Os resultados obtidos pelos autores indicaram que o manejo influi na densidade do solo até uma profundidade de 0,4 m, e a conseqüência dessas alterações é refletida em menores valores de macroporosidade e maiores de microporosidade. Concluíram ainda que em densidades do solo superiores a $1,25 \text{ Mg m}^{-3}$, a porosidade de aeração passou a ser limitante (menor que $0,1 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$).

A porosidade e a retenção de água em solo Laterítico, submetido a sete diferentes sistemas de cultivo, foram estudadas por Farias et al. (1985). Os resultados obtidos pelos autores não permitiram detectar efeitos sensíveis e duradouros dos sistemas de cultivo sobre a distribuição do tamanho de poros e retenção de água, o que indica que a degradação física do solo estudado é basicamente governada pela erosão hídrica.

Stone & Silveira (2001), estudando o efeito de sistemas de preparo do solo e rotações de culturas na densidade e porosidade do solo, encontraram maior valor de densidade e menor porosidade total e macroporosidade no sistema plantio direto, na camada superficial do solo, em comparação com os demais métodos, que incluíam arações e gradagens. Em relação aos sistemas de cultura, a sucessão trigo/soja foi a que apresentou menores valores de macroporosidade e maiores de microporosidade, enquanto na rotação arroz irrigado/calopogônio/milho ocorreu o inverso.

Machado & Brum (1978) encontraram significativa diminuição da macroporosidade e porosidade total do solo em um Latossolo Vermelho distrófico de textura argilosa submetido ao preparo convencional, quando comparado com o sistema de plantio direto e mata nativa. Os valores de densidade do solo apresentaram relação inversamente proporcional ao conteúdo de matéria orgânica, no sistema de preparo convencional do solo, demonstrando o efeito deletério deste manejo na qualidade do solo.

Trabalhando com pastoreio bovino em pastagens estabelecidas em solos de várzea, Vizzotto et al. (2000) atribuíram ao pisoteio bovino a redução da porosidade total e aumento da densidade do solo nos 5 primeiros centímetros de solo, e constataram que seis meses após

o pastejo são suficientes para que a macroporosidade do solo atinja níveis semelhantes àqueles constatados antes do início do pastejo.

Bertol et al. (2000) avaliaram o efeito do pisoteio bovino em pastagem de capim elefante manejada a diferentes ofertas de forragem (4, 8, 12 e 16 %), no espaço aéreo e densidade de um Cambissolo Álico. Os autores concluíram que o pisoteio afeta as propriedades físicas do solo, aumentando a macroporosidade e porosidade total com o aumento da oferta de forragem, principalmente na camada de 0-5 cm. A densidade do solo também sofreu alterações, diminuindo o seu valor com o aumento da oferta de forragem. O nível crítico de oferta de forragem foi estabelecido em 12 %, onde se tem o limite inferior de oferta e conseqüentemente o limite superior de pressão de pastejo.

Salton et al. (2002) avaliaram o espaço aéreo do solo antes e após o pastoreio bovino em pastagem de aveia preta, e encontraram uma redução de 18 % na macroporosidade do solo na camada de 0-5 cm de profundidade, após o pastoreio rotativo, em um Latossolo Distrófico típico muito argiloso, conduzido sob plantio direto com sucessão soja/aveia.

2.4.4 RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO

A resistência do solo à penetração é dada pela força normal requerida por unidade de área para separar ou afastar uma secção de solo de outra. Um método indireto de se avaliar a resistência do solo à penetração a campo é a utilização de penetrômetros, que são equipamentos desenhados para avaliar a resistência que o solo oferece à introdução de uma estreita sonda metálica (Hillel, 1998).

O valor de resistência dado pelo equipamento (penetrômetro) é um índice integrado do estado de compactação do solo, conteúdo de água, textura e tipo de mineral constituinte do solo. Em outras palavras, é um índice de resistência do solo no momento em que a avaliação é realizada (Baver et al., 1973).

Normalmente as determinações de densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo são as avaliações mais comuns e difundidas para identificar camadas compactadas no solo, porém a resistência do solo à penetração, expressa pelo índice de cone, também está diretamente relacionada com o estado de compactação do solo e pode ser uma medida mais sensível para identificar a compactação, especialmente em camadas pouco espessas (Abreu et al., 2004).

O estabelecimento de níveis críticos de resistência do solo à penetração das raízes tem sido estudado por diversos autores, em diversas situações. Para Taylor & Burnett (1964) e Merotto & Mundstock (1999), um solo apresentando resistência variando entre 1 a 3,5 MPa poderá restringir ou até mesmo impedir o crescimento e desenvolvimento radicular das plantas. Lipiec & Hatano (2003) citam que valores de resistência à penetração variando de 1 a 1,7 MPa começam a causar redução do desenvolvimento radicular, e que valores entre 3 e 4 MPa causam a paralisação do crescimento das raízes. Isto dependendo do tipo de solo e distribuição do tamanho de poros, especialmente quando para a medição se utilizam cones de diâmetro maior que o diâmetro das raízes.

Torres & Saraiva (1999) relatam que para a soja cultivada em Latossolo, o valor de 2,5 MPa (solo na consistência friável) é baixo e não causa restrição ao desenvolvimento radicular. Os autores classificaram o nível de compactação do solo sendo baixo quando possui valores de até 3,5 MPa e sendo alta compactação os valores de 6,5 MPa e superiores.

Rosolem et al. (1994) avaliaram diferentes níveis de compactação em subsuperfície (150-185 mm) no crescimento radicular e na produção de matéria seca do milho, em Latossolo Vermelho-escuro de textura média. Os níveis de compactação foram impostos por valores de densidade do solo, que foram de 1,03, 1,25, 1,48 e 1,72 Mg m⁻³. Os resultados apontaram drástica redução de raízes na camada mais profunda, sendo que o crescimento radicular foi 50 % prejudicado quando a resistência à penetração atingiu valor de 1,42 MPa.

O manejo do solo ocasiona alterações na estrutura do solo, resultando em maior ou menor grau de compactação. O estado de compactação de dois Latossolos submetidos ao sistema de plantio direto durante um período de sete anos, com rotação de culturas com soja e milho, foi estudado por Goedert et al. (2002). Os resultados de densidade do solo, porosidade total e resistência à penetração revelaram não ter ocorrido compactação, sendo que o maior valor de resistência encontrado não ultrapassou 1,3 MPa.

Avaliando o efeito do preparo convencional do solo e do sistema de plantio direto na resistência do solo à penetração e no desenvolvimento do sistema radicular do milho, cultivado em um Latossolo Vermelho, Tavares Filho et al. (2001) concluíram que valores de resistência superiores a 3,5 MPa não restringiram o crescimento radicular, porém determinaram a sua morfologia. O sistema plantio direto apresentou menor resistência na camada subsuperficial (> 15 cm), em comparação com o preparo convencional, que pulveriza a superfície do solo.

A condição de menor resistência à penetração na camada superficial do solo submetido ao preparo convencional é devida ao processo de revolvimento dessa camada para a realização da semeadura. Porém, esse efeito não é duradouro e sim temporário. Peña et al. (1996) avaliaram o efeito de oito sistemas de cultivo nas propriedades físicas de um solo de várzea e encontraram as melhores condições de densidade e resistência à penetração no sistema de preparo convencional, porém essas condições não foram encontradas após o término das atividades agrícolas do estudo, que perdurou por 9 meses.

Cintra & Mielniczuk (1983) estudaram o potencial de diferentes plantas na recuperação de solos com estrutura física degradada, caracterizada pela compactação do solo. As culturas estudadas (colza, tremoço-branco, cevada, trigo e soja) foram implantadas em diferentes níveis de resistência à penetração, que foram: 0, 0,6, 1,1 e 1,8 MPa, determinados com auxílio de um penetrômetro portátil. De todas as espécies estudadas, a colza e o tremoço-branco, que possuem sistema radicular pivotante, foram as que apresentaram maior eficiência em atravessar camadas compactadas, com resistência da ordem de 1,1 MPa. Os autores citam ainda as vantagens da utilização dessas espécies, como a abundante presença de raízes secundárias de colza e a alta capacidade de fixação biológica de nitrogênio pelo tremoço-branco.

O pisoteio bovino também pode interferir na resistência do solo à penetração. Albuquerque et al. (2001) avaliaram os efeitos da integração lavoura-pecuária, sob plantio direto e preparo convencional, nas propriedades físicas de um Nitossolo Vermelho e nas características da cultura do milho. Em comparação com solo sob mata nativa, o pisoteio e o trânsito de máquinas agrícolas induziram à degradação da estrutura do solo, refletida na diminuição da macroporosidade do solo sob sistema de preparo convencional, e aumento da resistência à penetração no sistema de plantio direto, na camada de 0-10 cm de profundidade.

Trein et al. (1991) encontraram resistência à penetração significativamente superior após o pastejo intensivo dos bovinos em pastagem de aveia preta e trevo, assim como a densidade e a macroporosidade, que também sofreram ação deletéria devido ao pisoteio. O valor da resistência do solo passou de 0,84 MPa para 4,03 MPa, antes e após o pastoreio, na camada de 0-7,5 cm de profundidade, respectivamente. Os efeitos continuaram significativos e semelhantes nas profundidades subseqüentes, 7,5-15 e 15-30 cm de profundidade.

Em experimento semelhante, Uhde et al. (1996) aplicaram carga animal de 15000 e 16200 kg ha⁻¹ por 20 e 22 horas de pastejo, respectivamente. As médias dos valores de resistência à penetração encontradas para as áreas sem pastejo apresentaram-se superiores às encontradas onde houve pastejo intensivo (1,7 e 1,2 MPa, respectivamente), porém não

diferindo estatisticamente. Com relação ao manejo do solo, os autores também não encontraram diferenças significativas para os métodos estudados (plantio direto, preparo convencional, e escarificação).

Partindo do pressuposto de que a resistência do solo à penetração varia com a umidade e a densidade do solo, a curva de resistência de um solo classificado como Nitossolo (antiga Terra Roxa estruturada), submetido ao pastejo rotacionado em pastagem de capim elefante, com lotação de 11 UA ha⁻¹ no verão, foi estudada por Imhoff et al. (2000). Os resultados obtidos revelaram correlação negativa entre a resistência à penetração e o conteúdo de água no solo, enquanto houve correlação positiva entre a resistência e a densidade do solo.

Leão et al. (2004) avaliaram a qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico submetido aos sistemas de pastejo contínuo e pastejo rotacionado, em pastagens de brachiaria e capim Tanzânia, respectivamente. Os autores encontraram condições físicas mais restritivas para o crescimento vegetal (avaliado pelo intervalo hídrico ótimo, densidade do solo e resistência à penetração) nas áreas submetidas ao pastejo rotacionado. Os autores relatam que a maior taxa de lotação animal no período chuvoso (4,8 UA ha⁻¹) nas áreas de pastejo rotacionado pode ter sido decisiva no processo de degradação das propriedades físicas do solo, porém as diferenças no hábito de crescimento das espécies utilizadas nos sistemas de pastejo contínuo e rotacionado podem ter influenciado os resultados.

2.4.5 ESTRUTURA DO SOLO

A configuração interna da matriz do solo é conhecida como estrutura do solo. Três formas de estrutura do solo são reconhecidas: granular, massiva e agregada. A forma agregada é geralmente a mais desejada para a germinação das sementes, estabelecimento das culturas e desenvolvimento radicular inicial (Niewczas & Walczak, 2005).

A estabilidade da estrutura do solo diz respeito à resistência que os agregados do solo oferecem às forças de desagregação da água e de operações mecânicas realizadas no solo. A susceptibilidade do solo à erosão hídrica está relacionada à estabilidade dos agregados, à ação da água, forças mecânicas externas e ao diâmetro médio geométrico dos agregados, o qual serve como uma medida quantitativa da estabilidade dos agregados em água (Baver et al., 1973).

A formação de agregados e sua estabilidade são determinadas pelo suprimento contínuo de resíduos orgânicos e sua decomposição no solo pela atividade microbiana (Cintra & Mielniczuk, 1983). Assim, manejos de solo que possuem essas características, como o sistema plantio direto, favorecem a melhoria e a conservação dos agregados do solo, enquanto sistemas de preparo que pulverizam a camada superficial e favorecem a rápida decomposição dos resíduos vegetais aportados ao solo, como no sistema de preparo convencional com arações e gradagens, reduzem a estabilidade dos agregados e aumentam a taxa de oxidação da matéria orgânica (D'Andréa et al., 2002).

O manejo do solo atua diretamente no estado de agregação, tanto em relação ao tamanho e estabilidade dos agregados como na concentração dos agregados numa determinada classe de tamanho (Beutler et al., 2001). A estabilidade dos agregados tem sido relacionada com o conteúdo de carbono orgânico do solo em cultivos anuais, sendo que gramíneas utilizadas como coberturas de inverno possuem efeito benéfico na agregação (Silva & Mielniczuk, 1997).

Cosentino et al. (1998) avaliaram o conteúdo de carbono orgânico total, a estabilidade estrutural, a densidade do solo e a percentagem de agregados maiores que 2 mm, nas profundidades de 0-5 e 5-15 cm, em sistemas de monocultura de milho, submetidos ao preparo convencional, preparo reduzido e sistema plantio direto, em um Chernossolo Argilúvico. Os maiores valores de carbono orgânico foram encontrados em plantio direto, bem como os de estabilidade estrutural, ao passo que os menores valores foram apresentados no preparo convencional. O maior tamanho de agregados (macroagregados) foi encontrado também no sistema plantio direto, nas duas profundidades estudadas.

A formação de agregados de maior tamanho, que originou maior diâmetro médio ponderado de agregados, também foi encontrada em sistema plantio direto, após três anos de adoção, por Lima et al. (2003), que estudou o efeito de diferentes sistemas de preparo num solo de várzea. Os autores encontraram ainda correlação linear positiva entre o diâmetro médio ponderado e o conteúdo de carbono orgânico total do solo.

Da Ros et al. (1997) avaliaram a influência de sete diferentes sistemas de manejo do solo na estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho escuro sob campo nativo, no município de Cruz Alta, RS. Os autores observaram que o aumento na intensidade de preparo do solo proporcionou diminuição da percentagem de agregados na classe de maior tamanho e conseqüente aumento nas classes de menor tamanho. Um resultado interessante encontrado foi a equivalência estatística entre o plantio direto sem incorporação de calcário, após cinco anos de uso do sistema, e o campo nativo, nos resultados da distribuição do tamanho dos

agregados estáveis em água. Este fato evidencia que o sistema plantio direto conserva inalterada a estrutura do solo, e que não há necessidade de revolvimento para correção da acidez do solo.

Castro Filho et al. (2002) avaliaram o efeito de três sistemas de rotação de culturas (soja/trigo/soja, milho/trigo/milho, e soja/trigo/milho) submetidos ao sistema plantio direto e preparo convencional, em Latossolo Vermelho distrófico, após 21 anos da instalação do experimento. Na camada de 0-20 cm de profundidade, o sistema de plantio direto apresentou os melhores índices de estabilidade de agregados, o que foi atribuído ao aumento do conteúdo de carbono orgânico total do solo. Os sistemas de cultura estudados não expressaram diferenças significativas no estado de agregação do solo.

Uma comparação entre o estado de agregação de um campo nativo e o proporcionado por três diferentes sistemas de manejo (plantio direto, preparo convencional e preparo em contorno com tração animal) foi realizada por Pinheiro et al. (2004), num Latossolo Vermelho distrófico. O conteúdo de carbono orgânico total foi maior no plantio direto, na camada de 0-5 cm. A exposição do solo ocasionada pelas operações do preparo convencional e o deficiente aporte de resíduos causaram declínio na agregação e no conteúdo de carbono total, o que tornou o solo susceptível à erosão, em comparação com o campo nativo.

Basso & Reinert (1998), avaliando o efeito de plantas de cobertura do solo no inverno (ervilha forrageira, ervilhaca, chícharo, azevém tremoço azul, aveia preta e pousio invernal), após 4 anos da instalação do experimento, sobre a estabilidade de agregados estáveis em água, encontraram superioridade da aveia preta sobre as demais, mostrando que gramíneas em longo prazo induzem a um melhor estado de agregação.

As plantas de cobertura de inverno induzem a uma variação temporal da estabilidade de agregados, principalmente gramíneas como a aveia preta e leguminosas como o tremoço. Estas diferenças podem ser atribuídas ao sistema radicular, no caso da gramínea aveia preta, e à taxa de decomposição da leguminosa tremoço, sendo que ambas propiciam ambiente favorável a agregação do solo (Campos, 1993).

A variação temporal e a ação de diferentes sistemas de culturas na agregação do solo também foi observada por Wohlenberg et al. (2004) em um solo arenoso. Os resultados encontrados permitiram afirmar que os sistemas de cultivo que aportam material orgânico e cobrem o solo durante todo o ano proporcionam maior estabilidade de agregados, e que as seqüências de culturas com gramíneas e leguminosas apresentam maior agregação.

A influência de atributos químicos, físicos e biológicos na estabilidade estrutural de dois Latossolos cultivados em sistema plantio direto a mais de quatro anos foi estudada por Dufranc et al. (2004). Os resultados mostraram que o conteúdo de matéria orgânica, a comunidade bacteriana e os teores de ferro e argila foram os principais agentes agregantes, sendo que nas áreas com baixos teores de argila e altos teores de areia fina, os mais baixos índices de estabilidade de agregados foram encontrados.

Bassani (1996) estudou a estabilidade de agregados em um Argissolo Vermelho submetido ao sistema plantio direto e preparo convencional, pastejados ou não durante o inverno. A estabilidade estrutural foi representada pelo diâmetro médio geométrico dos agregados e foi 38 % superior no sistema plantio direto em área pastejada e 8 % superior em área não pastejada, em relação ao preparo convencional do solo. O autor avaliou ainda a época de amostragem na determinação dos agregados, que foi antes e após o período de pastejo. Foi observado um pequeno aumento no diâmetro médio dos agregados após o pastejo animal, sendo que foi atribuído ao rearranjo das partículas do solo durante o pisoteio bovino, tornando-o um pouco mais compacto, e ao efeito do sistema radicular da pastagem de gramíneas na agregação das partículas.

Os dejetos produzidos pelos bovinos também proporcionam efeitos benéficos na agregação do solo. Nyamangara et al. (2001) estudaram o efeito da aplicação de doses de esterco bovino na estabilidade de agregados e na retenção de água em um solo arenoso. Os autores encontraram elevação do conteúdo de carbono total do solo de 10 a 38 % na camada de 0-10 cm, com a aplicação do esterco, comparado com a área que não recebeu aplicação. O índice de estabilidade de agregados dado pelo diâmetro médio geométrico dos agregados sofreu elevação com o aporte de esterco durante três anos, passando de 0,243 mm para 0,926 mm, diferindo significativamente a 5 % de probabilidade.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 HISTÓRICO E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O presente trabalho foi conduzido em área mantida sob campo nativo até a primavera do ano 2001, quando foram então implantadas, em semeadura direta, as culturas de milho e soja. Após a colheita das culturas de verão, foram semeadas, no outono de 2002, aveia preta e azevém, para pastejo bovino. Esse manejo foi realizado até a safra agrícola 2002/2003, quando foi então instalado o experimento. O mesmo faz parte de um projeto maior, e foi realizado em área pertencente a Agropecuária Capitão Rodrigo, localizada no município de Jari – Rio Grande do Sul (29°18'45'' Latitude Sul, 54°11'15'' Longitude Oeste e 440 metros de Altitude), situado na região do Planalto Médio do Estado do Rio Grande do Sul.

3.2 CLIMA E SOLO

O clima da região é classificado, segundo Köppen, como Cfa, ou seja, clima subtropical úmido, com chuva bem distribuída durante o ano (nenhum mês com menos de 60 mm), temperatura média do mês mais quente superior a 22,0 °C e temperatura média do mês mais frio entre -3°C e 18°C, sendo a temperatura média anual entre 17 e 19°C e a precipitação pluviométrica média anual entre 1.558 a 1.767 mm (Moreno, 1961). O relevo característico da região é ondulado a suavemente ondulado.

O solo predominante na região é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo aluminico típico (EMBRAPA, 1999), sendo pertencente à Unidade de Mapeamento Júlio de Castilhos, o qual ocupa isoladamente 1.970 Km², representando aproximadamente 0,73 % da área do Estado.

Os resultados da análise química do solo, coletado antes da instalação do experimento, na camada de 0 a 10 cm de profundidade, são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Análise química do solo da área experimental, na profundidade de 0-10 cm, antes da instalação do experimento. Jari – RS, Maio de 2000.

Prof.	pH ¹	SMP ²	MOS ³	P ⁴	K ⁴	Ca ⁵	Mg ⁵	Al ⁵	H+Al	V ⁶	m ⁷
Cm	1:1		g dm ⁻³	mg dm ⁻³		----- cmol _c dm ⁻³ -----				--- % ---	
0-10	4,9	5,3	45,0	2,7	155	3,0	1,3	1,0	7,0	40	17

¹pH em Água, ²Índice SMP, ³Matéria Orgânica do Solo, ⁴Fósforo e Potássio (Mehlich-I), ⁵Cálcio, Magnésio e Alumínio trocáveis (KCl 1M), ⁶Saturação por bases, ⁷Saturação por Alumínio.

A análise granulométrica do solo da área experimental, até a profundidade de 80 cm, está apresentada na Tabela 2.

Tabela 2. Análise granulométrica do solo da área experimental. Jari – RS, novembro de 2003.

Prof.	AT	AG	AF	SILTE	ARGILA
cm	-----%-----				
0-10	28,12	14,15	13,97	45,66	26,22
10-20	28,58	14,68	13,90	42,30	29,12
20-40	26,09	14,34	11,74	43,17	30,75
40-60	17,30	7,15	10,15	34,91	47,80
60-80	24,26	12,76	11,50	37,34	38,40

AT = areia total AG = areia grossa AF = areia fina

3.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

O delineamento experimental utilizado foi o Trifatorial em Blocos ao Acaso com parcelas sub-subdivididas, com quatro repetições por tratamento. Cada parcela principal mediou 12 metros de largura e 5 metros de comprimento (60 m²). O Fator A foi constituído por três frequências de pastoreio na pastagem de inverno, as quais foram: Pastoreio a cada 14 dias (P14); Pastoreio a cada 28 dias (P28) e Sem Pastoreio (SP). O Fator B foi a utilização de adubação nitrogenada na pastagem de inverno, em duas dosagens: 0 kg N ha⁻¹ (0N) e 200 kg N ha⁻¹ (200N), enquanto o Fator C foi constituído por sistemas de culturas de verão, que

foram: monocultura de soja (MS); soja em rotação de cultura com milho (RS); monocultura de milho (MM) e milho em rotação de cultura com soja (RM).

Na Figura 1 é apresentado o croqui esquemático da área experimental, para a safra de verão 2003/2004 e 2004/2005.



Figura 1. Croqui esquemático da área experimental, para a safra de verão 2003/2004 (1º verão) e 2004/2005 (2º verão).

O croqui esquemático da área experimental, para os invernos de 2003 e 2004 é apresentado no Apêndice L.

3.4 INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS

3.4.1 PASTAGENS DE INVERNO

O experimento foi instalado em maio de 2003, com a implantação da pastagem de inverno, constituída por um consórcio forrageiro entre aveia preta (*Avena strigosa* L.) e azevém (*Lolium multiflorum* L.). A semeadura foi realizada em lanço, com auxílio de um

trator e um distribuidor centrífugo de insumos, na proporção de 80 kg de sementes de aveia preta e 20 kg de sementes de azevém. Para auxiliar o contato solo-semente e contribuir para o estabelecimento da pastagem, realizou-se uma operação de gradagem, com grade de 32 discos, completamente fechada, para não haver revolvimento do solo (Figura 2). Para a semeadura da pastagem no ano de 2004 foram utilizadas as mesmas quantidades de sementes de aveia preta e azevém, porém a semeadura foi realizada com uma semeadora de 20 linhas para cereais de inverno, marca IMASA, modelo MP-2000, própria para semeadura direta.



Figura 2. Detalhe do estabelecimento da pastagem de aveia preta + azevém. Jari –RS, junho de 2003.

Não foi realizada adubação com fósforo e potássio na pastagem, pois existe um residual da adubação das culturas de verão, soja e milho, que é então utilizado pelas plantas, sem sinais de deficiência. A aplicação de adubação nitrogenada na pastagem de inverno do ano de 2003, nas parcelas que receberam o tratamento de 200 kg de N ha⁻¹, foi dividida em cinco épocas, sendo elas: na semeadura; no perfilhamento das plantas (aproximadamente 20 dias após a emergência – 20 DAE); após o primeiro pastejo (50 DAE); aos 78 DAE; e após o último pastejo (106 DAE). O nitrogênio foi aplicado em lanço, manualmente, na forma de uréia (45 % de N), e as quantidades em ordem de aplicação foram as seguintes: 20, 45, 45, 45 e 45 kg de N ha⁻¹. O mesmo procedimento foi adotado na pastagem de inverno do ano de 2004, porém as datas de realização dos pastoreios sofreram pequenas alterações quanto ao dias exatos nos meses em que foram realizados.

Na Tabela 3 encontra-se o cronograma de aplicação da adubação nitrogenada na pastagem, para o inverno de 2004.

Tabela 3. Cronograma de aplicação das doses de nitrogênio na pastagem de inverno, para o ano de 2004.

Fase da Pastagem	TRATAMENTO			
	0N	200N	Época	Data
	Kg ha ⁻¹		DAE*	
Semeadura	-	20	-	15/05/2004
Perfilhamento	-	45	20	19/06/2004
1º Pastoreio P14 e P28	-	45	62	31/07/2004
2º Pastoreio P28 e 3º Pastoreio P14	-	45	90	31/08/2004
3º Pastoreio P28 e 5º Pastoreio P14	-	45	118	29/09/2004

*Dias após a emergência

3.4.2 SISTEMAS DE PASTOREIO

Os sistemas de pastoreio empregados, no inverno de 2003 e 2004, compreenderam três frequências, sendo elas: pastejo a cada 14 dias (P14); pastejo a cada 28 dias (P28); e sem pastejo (SP), que correspondeu ao tratamento testemunha. Os animais utilizados para efetuar o pastoreio foram fêmeas das raças Aberdeen Angus e Red Angus com idade média de 5 anos e peso vivo médio aproximado de 350 Kg. O número de animais utilizados em cada pastoreio foi de aproximadamente 60 cabeças por hectare. O manejo da área da pastagem foi realizado com o auxílio de cerca elétrica, e devido ao comportamento dócil das raças utilizadas, o manejo dos animais foi bastante facilitado.

No inverno de 2003, o primeiro pastoreio nos tratamentos P14 e P28, ocorreu aos 50 dias após a emergência das plantas, momento em que as mesmas apresentavam aproximadamente 30 cm de altura. Os animais permaneceram na área até o resíduo da pastagem apresentar aproximadamente 10 cm de altura, o que era alcançado com aproximadamente duas horas de pastejo. No tratamento P14 os pastejos seguintes ocorreram

aos 64, 78, 92 e 106 DAE, totalizando cinco pastoreios, enquanto para o P28 os pastejos seguintes foram aos 78 e 106 DAE, num total de três pastoreios. Após a realização do último pastejo, nos dois tratamentos estudados, realizou-se o diferimento da pastagem, que perdurou por 35 dias, para que a mesma pudesse acumular matéria seca, favorecer a produção de sementes para uma boa ressemeadura natural no próximo ano, aumentar a cobertura do solo e fornecer palhada para o plantio direto das culturas de verão implantadas em seqüência.

No inverno de 2004 também foram realizados cinco pastejos no P14 e três pastejos no P28, sendo o primeiro para ambos aos 62 DAE, e os seguintes aos 76, 90, 104 e 118 para o P14, e aos 90 e 118 DAE para o P28. O período de diferimento utilizado em 2004 foi de 40 dias, o que proporcionou uma boa quantidade de palha para o sistema, e também uma produção considerável de sementes, tanto de aveia preta quanto de azevém, favorecendo muito a ressemeadura natural para o ano posterior.

Nos dois anos de avaliação, após o período de diferimento da pastagem, a mesma foi dessecada com herbicida a base de glifosato, para que num período de aproximadamente 7 dias após a dessecação fosse realizada a semeadura das culturas de verão.

3.4.3 SISTEMAS DE CULTURAS DE VERÃO

Os quatro sistemas de culturas de verão estudados foram: Soja (*Glycine max* L.) em Monocultura (MS), Soja em Rotação de culturas com milho (RS), Milho (*Zea mays* L.) em Monocultura (MM) e Milho em Rotação de culturas com soja (RM). Foram realizadas duas safras de verão (2003/2004 e 2004/2005), sendo por isso necessária a utilização de cultivares de ciclo precoce, tanto de milho como de soja. Desse modo, a maturação e colheita das duas culturas ocorreram sempre no início do mês de março.

A adubação das culturas foi realizada conforme recomendação da Comissão de Fertilidade...(1995), uniforme em todos os tratamentos. A soja recebeu 400 kg ha⁻¹ de adubo de fórmula 0-20-20 (N-P-K) em lanço, no dia da semeadura, sendo que não recebeu adubação nitrogenada devido a sua capacidade de fixação biológica desse nutriente. Para tanto, as sementes foram inoculadas no momento da semeadura com *Rhizobium* específico recomendado para a cultura. O milho recebeu 400 kg ha⁻¹ de adubo de fórmula 0-20-20 (N-P-K), juntamente com 30 kg N ha⁻¹, na forma de uréia, correspondendo a 25 % dos 120 Kg N ha⁻¹ previstos para a cultura, ambos também em lanço e no dia da semeadura.

Os restantes 75 % da adubação nitrogenada foram aplicados em duas doses de 45 kg N ha⁻¹, na forma de uréia, quando as plantas de milho apresentavam-se no estágio de 4 a 6 e de 10 a 12 folhas, respectivamente.

O solo foi manejado em semeadura direta, sendo que para a cultura do milho foi utilizado espaçamento entre linhas de 0,9 m e 5 sementes por metro linear, totalizando aproximadamente 55 mil plantas por hectare. A soja foi semeada com espaçamento entre linha de 0,4 m e 12 plantas por metro linear, num total próximo de 300 mil plantas por hectare.

As demais operações de manejo das culturas, como aplicações de inseticidas, herbicidas e fungicidas foram realizadas quando necessárias, com auxílio de trator e pulverizador de barras. A adubação nitrogenada de cobertura para o milho foi realizada em lanço e manualmente, e a colheita das culturas foi realizada com colhedora automotriz de grãos.

3.5 DETERMINAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DAS CULTURAS

3.5.1 PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA DAS PASTAGENS

Amostras de plantas das pastagens de inverno foram coletadas nos dois anos do experimento, em número de quatro repetições por tratamento. Cada amostra da pastagem correspondeu a uma área de 0,1 m², e foi coletada aleatoriamente dentro de cada parcela. As épocas de coleta foram sempre antes e após os pastoreios propostos, e também 30 dias após o último, que correspondeu ao período de diferimento da pastagem. Nos tratamentos onde não houve pastoreio, as amostras foram coletadas apenas na ocasião do florescimento das plantas. Depois de coletadas no campo, as amostras foram armazenadas em sacos semipermeáveis e levadas à estufa de ventilação de ar forçada à temperatura de 65° C até atingirem peso constante. Após, as mesmas foram pesadas para a determinação da matéria seca.

3.5.2 PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DAS CULTURAS DE VERÃO

A produtividade de grãos de soja foi determinada através de coletas amostrais das parcelas, que foram compostas por 4 repetições de 2 metros lineares de plantas. Após, as amostras foram debulhadas manualmente, peneiradas, pesadas e ajustadas para a umidade de 13 %, para então calcular a produção por hectare. Para a determinação da produtividade de grãos de milho, foram coletadas as espigas de 8 plantas por parcela, sendo as mesmas também debulhadas manualmente, peneiradas, pesadas e ajustadas para a umidade de 13 %.

3.6. ESTIMATIVA DO GANHO DE PESO ANIMAL EM PASTAGEM CULTIVADA

O ganho de peso animal por hectare obtido ao final do período de utilização da pastagem foi estimado em função da quantidade de matéria seca consumida pelos animais durante os pastoreios e de uma conversão alimentar média dos bovinos, que segundo Restle et al. (1998) e Fontaneli et al. (2000), pode ser fixada em 10 kg de matéria seca consumida para cada 1 kg de ganho de peso vivo.

3.7 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO

3.7.1 DENSIDADE DO SOLO

A densidade do solo foi determinada utilizando amostras de solo indeformadas coletadas com o auxílio de anéis de aço com volume conhecido, seguindo metodologia descrita por Embrapa (1979). O cálculo da densidade foi realizado utilizando a seguinte fórmula:

$$D_s = M_{ss} / V_c, \text{ sendo:}$$

D_s = densidade do solo (Mg m^{-3});

M_{ss} = massa de solo seco em estufa a 105°C (gramas), e

V_c = volume do cilindro (cm^3).

3.7.2 POROSIDADE TOTAL, MICROPOROSIDADE E MACROPOROSIDADE DO SOLO

A porosidade total do solo (Pt) foi calculada pela seguinte expressão:

$$Pt (\%) = \% \text{ macroporosidade} + \% \text{ microporosidade}$$

A microporosidade do solo foi calculada considerando que a mesma corresponde à classe de diâmetro de poros que retêm água a uma sucção de -60 cm de coluna de água, utilizando a mesa de tensão, conforme metodologia descrita por Embrapa (1979).

A fórmula utilizada foi a seguinte:

$$Mip = (Ms60 - Mss) / Vc * 100, \text{ onde:}$$

Mip = microporosidade (%);

Ms60 = massa do solo após 72 horas na mesa de tensão a uma sucção de 60 cm de altura de coluna de água (gramas);

Mss = massa de solo seco em estufa a 105° C por 24 horas, e

Vc = volume do cilindro (cm³).

A macroporosidade do solo (Map) foi calculada pela seguinte expressão:

$$Map = (Mssat - Ms60) / Vc * 100, \text{ onde:}$$

Map = macroporosidade (%),

Mssat = massa de solo saturado (gramas), e

Ms60 = massa do solo após 72 horas na mesa de tensão a uma sucção de 60 cm de altura de coluna de água (gramas).

Vc = volume do cilindro (cm³).

3.7.3 RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO

No período de pastejo do ano 2003, a resistência do solo à penetração foi avaliada antes e após o primeiro pastoreio e após o segundo e terceiro pastoreios no tratamento P28, enquanto no tratamento P14 a resistência a penetração foi realizada antes e após o primeiro pastoreio e após o terceiro e quinto pastoreios. Após o período de diferimento da pastagem, trinta dias após o último pastoreio, todos os tratamentos foram avaliados, inclusive o testemunha (SP) que não foi pastoreado. Para a realização das avaliações foi utilizado um penetrômetro eletrônico, com ponta cônica de 30°, marca RIMIK, modelo CP 20, o qual foi introduzido manualmente no solo, até a profundidade de 30 cm. Foram realizadas 12

repetições por tratamento, e concomitantemente às avaliações de resistência à penetração, amostras de solo foram coletadas com trado calador e armazenadas em latas hermeticamente fechadas, para a determinação da umidade volumétrica do solo, nas profundidades de 0-5, 5-10, e 10-20 cm. Em 2004 as avaliações de resistência à penetração seguiram a mesma metodologia do ano anterior, porém com outro penetrômetro digital (marca DLG, modelo PNT 2000, com ponta cônica de 30°), e foram realizadas apenas após o término do período de pastoreio, em todos os tratamentos estudados.

3.7.4 INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO

A taxa de infiltração de água no solo foi determinada pelo método dos duplos cilindros concêntricos, segundo metodologia descrita por EMBRAPA (1979). O cilindro maior e menor tinham respectivamente 40 e 20 cm de diâmetro e 10 e 15 cm de altura. Os mesmos possuíam uma das suas bordas afiadas para melhor promover sua introdução e evitar a desestruturação do solo no local, e a outra borda possuía um reforço, para suportar os golpes que foram necessários na ocasião de sua introdução no solo. O cilindro maior foi introduzido até 5 cm de profundidade no solo, e o menor até 10 cm. Depois de instalados os cilindros, para a medição do volume de água infiltrado, canos de PVC de 150 mm de diâmetro, fechado numa ponta e com um registro de esfera de $\frac{1}{2}$ polegada na outra, contendo água em quantidade conhecida por meio de uma mangueira e uma escala graduada em intervalos de 15 ml, suspensos por meio de um tripé de ferro, foram alocados sobre o cilindro menor, a fim de manter uma lâmina de água constante de 5 cm de altura. O medidor confeccionado (Figura 3) é semelhante ao descrito por Siqueira & Denardin (1985). No cilindro maior a lâmina de água foi mantida manualmente, com 5 cm de altura, com auxílio de galões de 20 litros. As leituras foram tomadas aos 5, 10, 15, 20, 30, 60, 90 e 120 minutos após o início do teste, sendo que foram realizadas 11 repetições por tratamento.

Para a avaliação da infiltração de água nos sistemas de culturas estudados, devido à elevada variabilidade espacial deste parâmetro, considerou-se os tratamentos RS (Rotação de culturas com Soja e milho) e RM (Rotação de culturas com Milho e soja) como sendo um único tratamento, denominado RSM (Rotação Soja/Milho).

3.7.5 DISTRIBUIÇÃO DO TAMANHO DE AGREGADOS ESTÁVEIS EM ÁGUA E DIÂMETRO MÉDIO GEOMÉTRICO DE AGREGADOS

A distribuição do tamanho de agregados estáveis em água foi feita pelo método descrito por Kemper & Chepil (1965). No campo foram coletadas duas amostras físicas por tratamento, sendo que no laboratório cada amostra foi dividida em duas, totalizando quatro repetições por tratamento. As amostras foram desagregadas manualmente, com força no sentido de tração, para evitar compressão nos agregados. Após, os mesmos foram passados em peneira de 8 mm e retidos em peneira de 4,76 mm, obtendo-se então agregados nesta classe de tamanho. Depois de peneirados, os agregados foram acondicionados em bandejas de isopor para secarem ao ar, por aproximadamente uma semana.

Depois de secas, 25 g de agregados de cada amostra foram umedecidos, por capilaridade, durante 10 minutos sobre um jogo de peneiras de malhas 4,76; 2,00; 1,00 e 0,21 mm, respectivamente nesta ordem, e receberam 30 oscilações verticais por minuto, de 3,8 cm de amplitude, durante 10 minutos, em um aparelho agitador. Logo após, o material retido em cada peneira foi acondicionado em latas de alumínio e levado para a estufa a 105° C por 24 horas, para posterior imersão em solução dispersante de NaOH 6 %, para separar a fração areia dos agregados. A areia retida em cada peneira foi levada à estufa, e posteriormente pesada para a obtenção da massa de agregados sem a fração areia. Concomitantemente a este processo, aproximadamente 25 g de agregados foram levados a estufa para determinação da umidade volumétrica residual. A percentagem de agregados por classe de tamanho e o DMG foram calculados pelas seguintes expressões:

$$AGR_i (\%) = mAGR_i / \sum_{i=1}^n AGR_i * 100 \quad \text{onde:}$$

$mAGR_i$ = massa de agregados da classe i ;

$$\sum_{i=1}^n AGR_i = \text{massa total de agregados.}$$

$$DMG = \text{EXP} \left[\frac{\sum_{i=1}^n (AGR_i * \text{LN}(ci))}{\sum_{i=1}^n AGR_i} \right] \quad \text{onde:}$$

LN = logaritmo neperiano;

ci = valor médio de classe de agregados i .

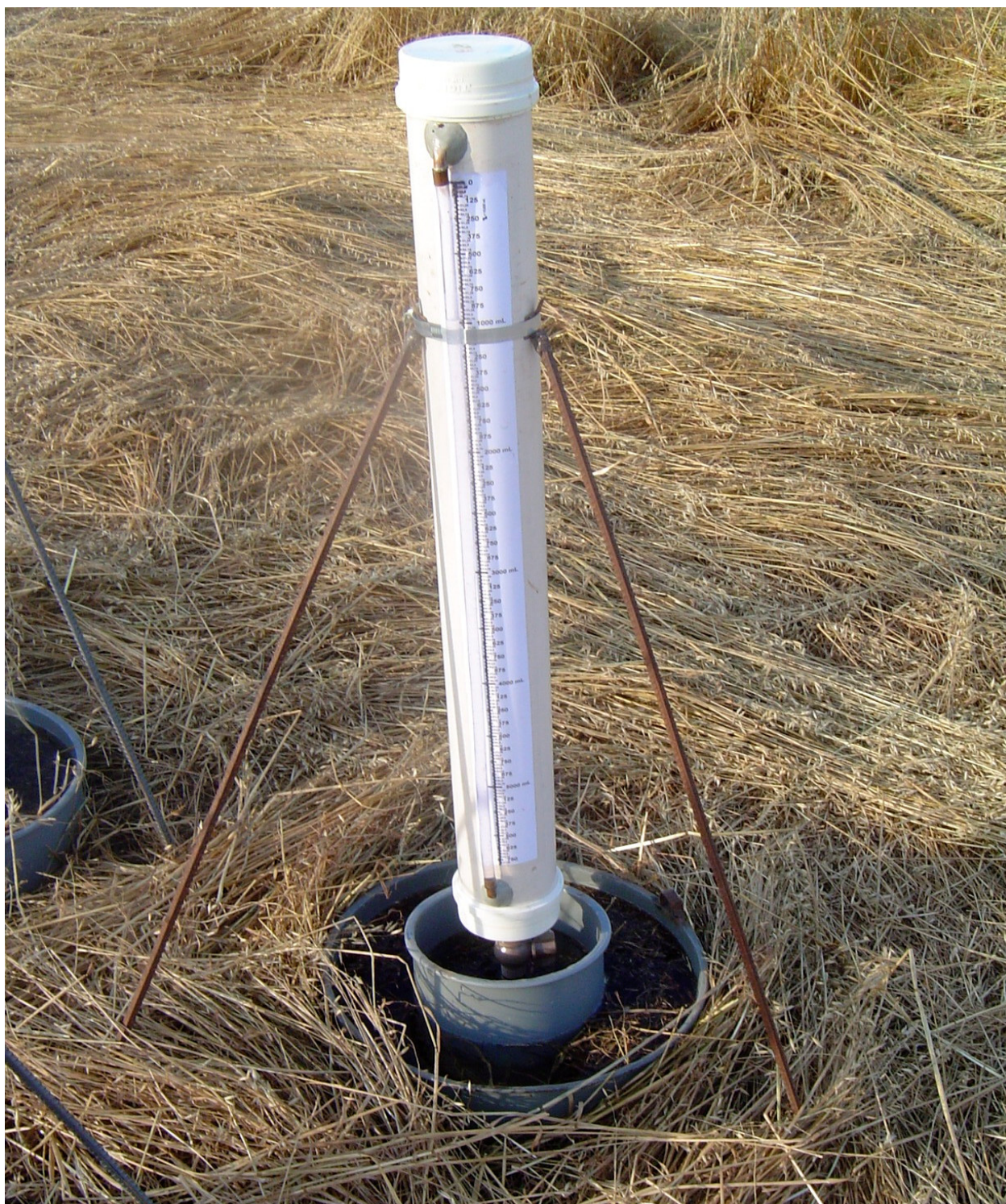


Figura 3. Detalhe dos duplos cilindros concêntricos e do cano de PVC utilizados para a determinação da taxa de infiltração de água no solo. Jari – RS, outubro de 2003.

3.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados obtidos no experimento foram submetidos à análise de variância, sendo que para os dados de natureza qualitativa as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados a seguir apresentados correspondem ao 2º e 3º ano de execução do experimento, sendo que o 2º ano foi constituído pelo inverno de 2003 e safra de verão 2003/2004, enquanto o 3º ano foi constituído pelo inverno de 2004 e safra de verão 2004/2005.

No primeiro ano de avaliações do presente experimento foram realizadas determinações de produção de matéria seca total da pastagem de inverno, taxa de acúmulo diário de matéria seca da pastagem, estimativa do ganho de peso animal em pastagem cultivada, densidade do solo, microporosidade, macroporosidade e porosidade total do solo, taxa de infiltração de água no solo, resistência do solo à penetração e produtividade de grãos de milho e soja.

No segundo ano foram realizadas as mesmas determinações do primeiro, acrescidas as determinações da distribuição do tamanho de agregados estáveis em água e diâmetro médio geométrico de agregados.

4.1 PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO ALTERADAS PELO PISOTEIO BOVINO E MANEJO DO SOLO

A Tabela 4 apresenta os valores de alguns atributos físicos do solo da área experimental obtidos de amostras coletadas antes da instalação do experimento, para fins de comparação com os dados obtidos durante a execução do mesmo. Essa comparação proporciona uma noção da magnitude das modificações impostas ao solo devido ao seu uso e manejo.

A vegetação predominante no campo nativo da região é composta por gramíneas do gênero *Paspalum*, principalmente, sendo que espécies leguminosas como trevo também são encontradas. A principal característica desse dossel é a exuberante densidade do sistema radicular, principalmente na camada de 0-5 cm de profundidade, e seu efeito pode ser evidenciado pela macroporosidade e porosidade total do solo (Tabela 4).

Na camada subsequente, de 5-10 cm de profundidade, percebe-se a diminuição da quantidade de raízes da vegetação e o efeito de vários anos de pisoteio bovino no campo, refletido no aumento de densidade e diminuição da macroporosidade do solo. Na camada de

10-15 cm nota-se que existe uma certa tendência do solo a apresentar valores próximos aos obtidos na camada superficial, o que pode ser atribuído ao efeito das raízes que conseguem ultrapassar a camada adensada do solo.

Tabela 4. Atributos físicos do solo sob campo nativo, Jari – RS, 2003.

Profundidade	Densidade do Solo	Macroporosidade	Microporosidade	Porosidade Total	DMG
cm	Mg m ⁻³	dm dm ⁻³		mm
0-5	1,09	0,22	0,40	0,62	5,45
5-10	1,33	0,17	0,39	0,56	5,30
10-15	1,24	0,21	0,36	0,57	---

4.1.1 DENSIDADE DO SOLO

A Figura 4 apresenta os valores de densidade do solo obtidos antes da implantação da pastagem composta por aveia preta e azevém, e logo após o término do período de pastoreio, no mês de setembro de 2003. A análise estatística foi realizada comparando os valores obtidos antes e depois do período de pastoreio, para cada camada de solo estudada. Nas duas camadas, de 0-5 cm e de 5-10 cm, o efeito do pisoteio bovino não ficou evidenciado, não apresentando diferenças significativas para as três freqüências de pastoreio (SP, P28 e P14).

Os valores observados antes do período de pastejo são levemente superiores aos encontrados no campo nativo, ao que pode ser atribuído o efeito do sistema plantio direto, que provoca com o passar dos anos de adoção, um certo adensamento da camada superior do solo (Centurion & Dematte, 1985; Stone & Silveira, 2001). Esse adensamento superficial é justificado pela ausência de revolvimento do solo, que preserva a estrutura natural do solo. Porém, com o tráfego de máquinas e implementos agrícolas, ocorre uma determinada pressão de compactação, que é ainda mais pronunciada se o solo é manejado fora da condição ideal de umidade, ou seja, no estado friável.

Um fator determinante da magnitude do potencial de compactação pelo pisoteio bovino é o conteúdo de água no solo durante o pastoreio. Um elevado teor de umidade

propicia condições favoráveis à compactação do solo, ao passo que um solo sob estresse hídrico é mais resistente à aplicação de cargas ou pressões exercidas.

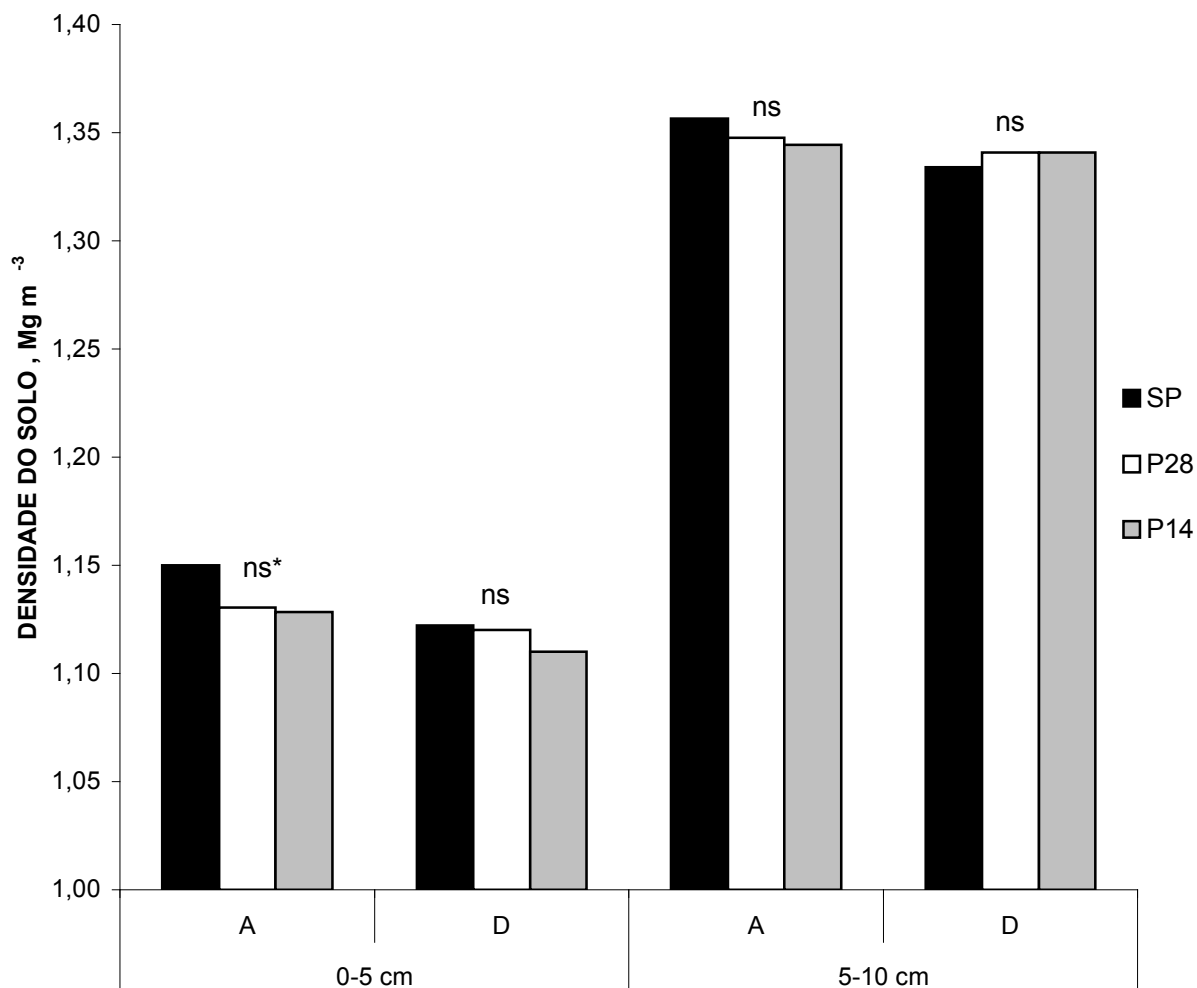


Figura 4. Densidade do Solo, no primeiro ano de avaliação do experimento, em duas épocas: antes (A) e depois (D) da aplicação de frequências de pastoreio de inverno (SP = Sem Pastoreio; P28 = Pastoreio a cada 28 dias e P14 = Pastoreio a cada 14 dias). Jari – RS, 2003. * ns = diferenças não significativas pelo teste de Tukey ($P < 0,05$), para cada camada de solo estudada.

Em sistema de pastoreio contínuo os animais permanecem na área durante todo o período, independente da ocorrência de chuvas ou não. Além de favorecer a compactação do solo, há uma constante depreciação da qualidade da pastagem neste sistema de pastoreio, pois

os animais percorrem maiores distâncias em busca de alimento selecionado, e conseqüentemente o pisoteio é maximizado, além do fato de que o animal necessita ruminar o alimento depois de determinado tempo, o que é feito geralmente em posição de repouso.

Assim como os pastoreios rotativos ou horários, as frequências de pastoreio foram aplicadas durante poucas horas, até a obtenção de um resíduo de pastagem aproximado de 10 cm. Durante o período de pastoreio do ano de 2003 houve coincidência de não ter havido precipitação pluviométrica nos dias planejados para a realização do pastoreio, e nem nos dias anteriores, o que favoreceu muito a conservação da estrutura do solo, pois o solo encontrava-se seco, bem como a própria conservação da pastagem. Por outro lado, a escassez de chuvas durante o período invernal proporcionou menores produções vegetais pelas plantas, em relação ao ano posterior, como pode ser evidenciado na comparação entre as Figuras 20 e 21.

Embora sendo iguais estatisticamente, houve uma pequena diminuição dos valores de densidade do solo, ao contrário do que se esperava neste estudo, em praticamente todas as frequências de pastoreio e camadas de solo estudadas. Este fato pode ser relacionado à alta densidade de raízes da pastagem composta por gramíneas, que possuem efeito benéfico na estruturação, estabilização e agregação do solo (Silva & Mielniczuk, 1997).

A aveia preta é uma espécie resistente ao pisoteio bovino e à compactação por ele provocada, conseguindo atravessar camadas de solo compactadas e se desenvolver abaixo delas (Muller et al., 2001). Silva & Rosolem (2001) não encontraram restrição ao crescimento radicular de aveia preta em solo com densidade de $1,6 \text{ Mg ha}^{-1}$, o que reforça a opção dessa espécie para utilização em pastagens.

A realização do pastoreio não provocou compactação do solo, inclusive na camada superficial do solo, concordando com os resultados encontrados por Bassani (1996), que realizou pastoreio contínuo em pastagem de aveia preta e azevém, em solo com 18 % de argila na camada de 0-20 cm de profundidade. Silva et al. (2000), realizando pastoreio contínuo no mesmo solo, durante um período de 107 dias, não encontraram efeito do pisoteio bovino na densidade do solo. Os autores atribuíram a ausência de compactação pelo pisoteio ao fato de o resíduo da pastagem permanecer próximo a $1,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ de matéria seca.

Avaliando a altura de manejo de uma pastagem de aveia preta e azevém, num Latossolo de textura muito argilosa, Cassol (2003) obteve resultados semelhantes, ou seja, não encontrou efeito do pisoteio bovino da densidade do solo, avaliada antes e depois do período de pastejo contínuo.

Na Figura 5 encontram-se os valores de densidade do solo observados antes e após o período de pastejo de inverno do ano de 2004. A análise estatística foi realizada novamente

comparando os valores obtidos antes e depois do período de pastoreio, para cada camada de solo estudada.

A camada superficial do solo, de 0-5 cm de profundidade, sofreu alteração significativa devido ao pisoteio bovino, passando de 1,07 e 1,11 Mg m⁻³ para 1,17 e 1,24 Mg m⁻³, antes e depois do período de pastoreio, no P28 e P14, respectivamente. Onde não houve pastoreio (SP), novamente se observa uma diminuição na densidade do solo avaliada antes e depois da pastagem, sendo este efeito atribuído ao sistema radicular exuberante e à alta quantidade de matéria seca aportada pelas culturas antecessoras e pela própria pastagem.

Nas camadas de solo subseqüentes, não houve diferenças significativas nos valores observados, sendo que para as três freqüências os valores variaram entre 1,33 e 1,35 Mg m⁻³, sendo semelhantes aos encontrados no campo nativo (Tabela 4).

Os resultados encontrados na camada superficial concordam com Trein et al. (1991), que aplicando uma carga animal elevada (200 reses por hectare) durante um reduzido período de tempo (40 horas), encontraram valores de densidade do solo de 1,39 e 1,56 Mg m⁻³, antes e depois do pastejo respectivamente, na camada de 0-7,5 cm.

Albuquerque et al. (2001), estudando os efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho, atribuíram o aumento da densidade do solo e a redução da macroporosidade ao trânsito de máquinas e implementos agrícolas utilizados nas operações de condução das culturas e ao pisoteio animal no período de inverno, em pastagem de aveia preta submetida ao pastejo contínuo, considerando que no período invernal geralmente o conteúdo de água no solo é mais elevado, o que favorece o processo de compactação.

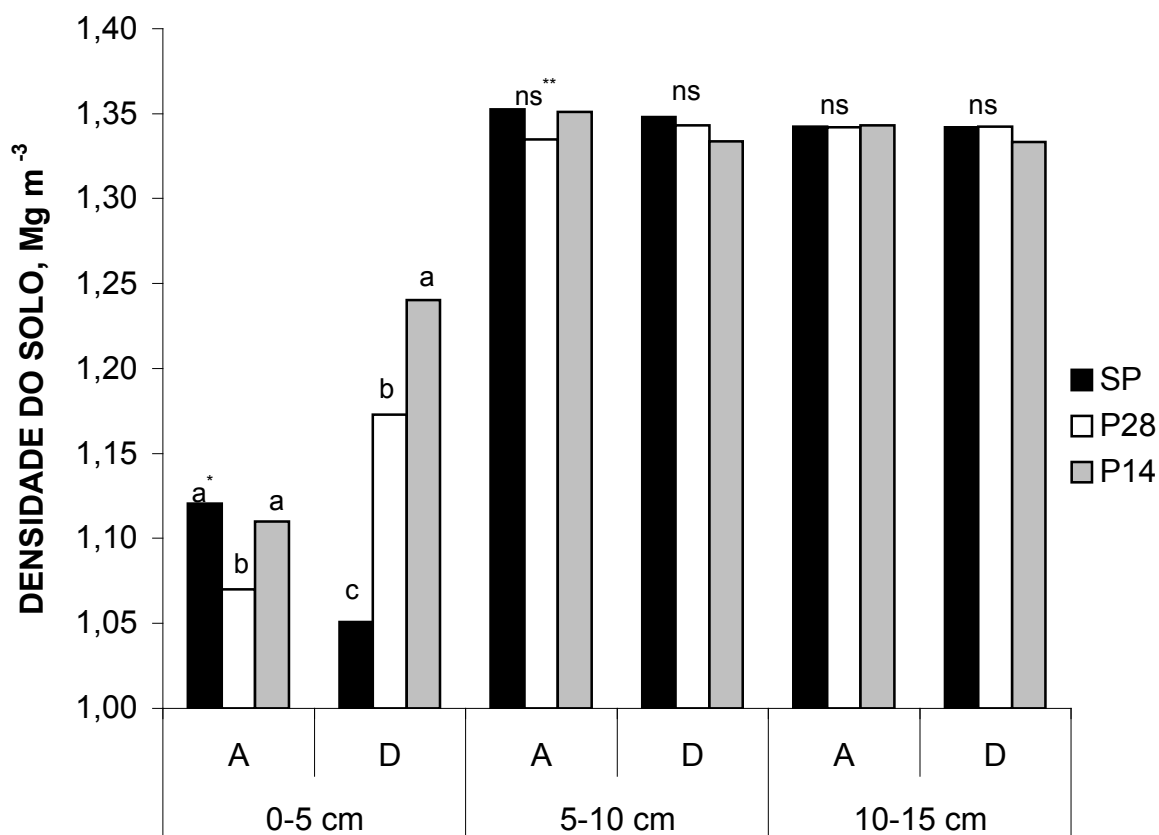


Figura 5. Densidade do Solo, no segundo ano de avaliação do experimento, em duas épocas: antes (A) e depois (D) da aplicação de frequências de pastoreio de inverno (SP = Sem Pastoreio; P28 = Pastoreio a cada 28 dias e P14 = Pastoreio a cada 14 dias), Jari – RS, 2004. *Médias seguidas por mesma letra, em cada profundidade e época, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). ** ns = diferenças não significativas.

Os sistemas de cultura de verão estudados, soja em monocultura (MS) e em rotação com milho (RS) e milho em monocultura (MM) e em rotação com soja (RM), não apresentaram efeito significativo na densidade do solo, em nenhuma das três profundidades estudadas (Figura 6). Observa-se uma tendência na camada superficial, da MS apresentar menor densidade, seguida pela RM. Como as avaliações foram feitas após dois cultivos de verão, talvez o efeito não tenha ainda se manifestado, e possivelmente com a adoção contínua dos sistemas durante alguns anos de cultivo essas diferenças venham a aparecer.

Stone & Silveira (2001) citam que a rotação de culturas, pela inclusão de espécies de sistema radicular e aportes de matéria seca diferenciados, pode alterar as propriedades físicas do solo, porém a intensidade dessas alterações depende do tempo de cultivo dos sistemas, do número de cultivos por ano e das espécies utilizadas.

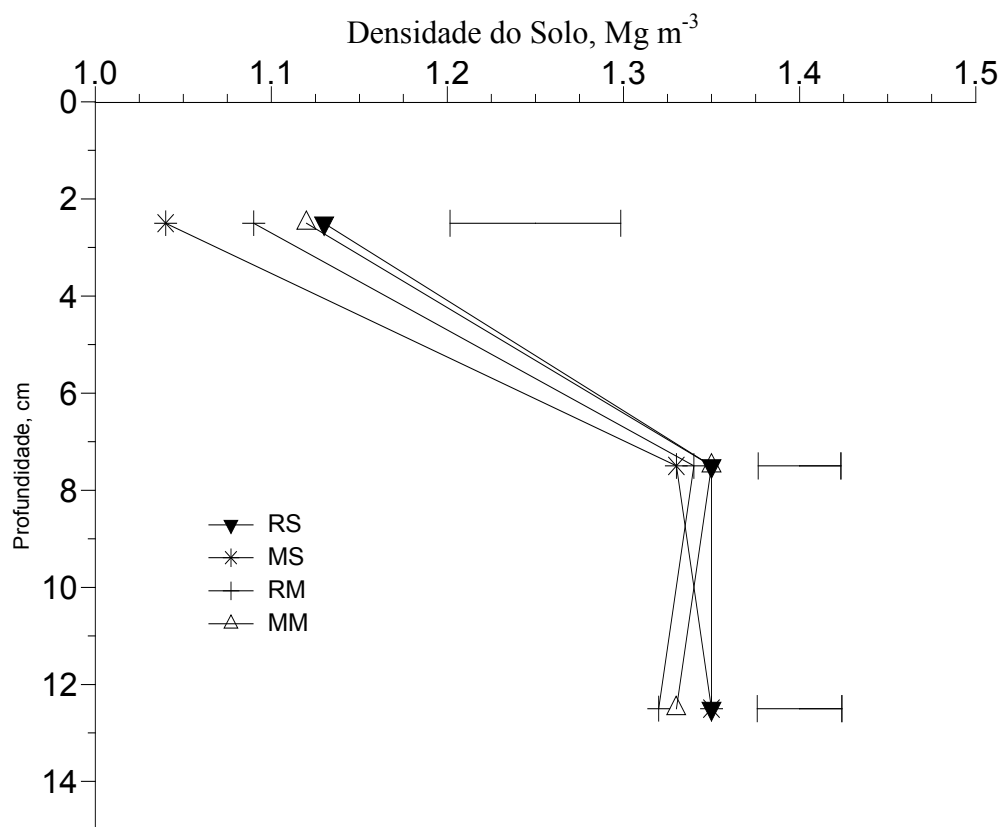


Figura 6. Densidade do Solo, no segundo ano de avaliação do experimento, na camada de 0-5, 5-10 e 10-15 cm de profundidade, após o cultivo de soja em monocultura (MS) e rotação de cultura com milho (RS), e do milho em monocultura (MM) e em rotação de cultura com soja (RM). Jari – RS, 2004. Barras horizontais comparam os valores de densidade do solo pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Genro Junior (2002) também não encontrou efeito significativo da rotação de culturas sob plantio direto durante três anos, na densidade, porosidade total, microporosidade e macroporosidade do solo, num Latossolo Vermelho com 680 g Kg^{-1} de argila.

Bertol et al. (2004) avaliaram as propriedades físicas de um solo submetido à sucessão e rotação de culturas sob diferentes manejos de solo, e concluíram que o sistema de cultura não exerceu influência na densidade do solo, possuindo dessa maneira efeito mais lento do que o sistema de manejo. Os autores citam ainda que é necessária a repetição do experimento por longos períodos para a manifestação dos efeitos dos sistemas de cultura sobre a densidade do solo.

Arf et al. (1999) avaliaram o efeito da rotação de cultura com trigo, milho, labelabe, e mucuna preta, na densidade, porosidade total, microporosidade e macroporosidade do solo, em um Latossolo Vermelho. Os autores concluíram que não foi possível identificar nenhuma alteração nas propriedades físicas do solo devido aos sistemas de culturas utilizados.

Apesar de não apresentarem diferenças significativas isoladamente, os sistemas de cultura de verão e as frequências de pastoreio de inverno mostraram interação significativa ($P < 0,05$) apenas para a camada superficial, de 0-5 cm, como pode ser observado na Tabela 5.

As áreas não pastejadas apresentaram menores valores de densidade, porém, com exceção da MS, os sistemas de cultura no P28 não foram estatisticamente diferentes das áreas não pastejadas (SP). Novamente encontra-se uma tendência positiva, de diminuição da densidade do solo nas parcelas que receberam a cultura da soja.

Cassol (2003) também encontrou diminuição da densidade e aumento na porosidade do solo, comparando os dados obtidos após o período de pastoreio de inverno e após o ciclo da cultura da soja implantada em sucessão, sob plantio direto.

Uma provável explicação para os melhores resultados terem sido encontrados onde se cultivou soja, em comparação com as áreas onde havia a cultura do milho, seria a diferença de morfologia e distribuição do sistema radicular das duas espécies. A soja possui sistema radicular pivotante, constituído por um eixo principal que pode chegar a 75 cm de profundidade, porém 90 % do seu peso seco concentra-se na camada de 0-15 cm (Torres & Saraiva, 1999).

Já a cultura do milho possui um sistema radicular do tipo fasciculado, mais distribuído e com diâmetro das radículas menor. Silva et al. (2000) encontraram maior concentração de raízes de milho nos 5 primeiros centímetros de solo sob plantio direto, submetido ao pastejo de inverno, em comparação com o mesmo solo, porém não submetido ao pastejo.

Nas camadas subseqüentes, de 5-10 e de 10-15 cm de profundidade, não houve interação significativa, em nenhum dos tratamentos estudados, o que comprova novamente o efeito superficial e temporário do pisoteio bovino na densidade do solo.

Tabela 5. Densidade do Solo, segundo a freqüência de pastoreio empregada no inverno (SP = Sem Pastoreio; P28 = Pastoreio a cada 28 dias e P14 = Pastoreio a cada 14 dias) e sistema de cultura de verão (MS = Monocultura de Soja; RS = Soja em Rotação com milho; MM = Monocultura de Milho e RM = Milho em Rotação com soja), em três camadas de solo. Jari – RS. Abril de 2004.

DENSIDADE DO SOLO, Mg m ⁻³			
SISTEMA de CULTURA	FREQUÊNCIA DE PASTOREIO		
	SP	P28	P14
<u>Camada 0-5 cm</u>			
MS	0,95d*	1,15bc	1,19bc
RS	1,09cd	1,22bc	1,25ab
MM	1,04cd	1,16bc	1,21bc
RM	1,10cd	1,15abc	1,30a
<u>Camada 5-10 cm</u>			
MS	1,32**	1,35	1,34
RS	1,35	1,34	1,33
MM	1,33	1,35	1,31
RM	1,39	1,33	1,35
<u>Camada 10-15 cm</u>			
MS	1,31**	1,35	1,33
RS	1,35	1,34	1,35
MM	1,36	1,31	1,32
RM	1,36	1,37	1,35

* Médias seguidas por mesma letra na mesma profundidade não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

**Diferenças não significativas.

4.1.2 POROSIDADE DO SOLO

O adensamento e arrançamento das partículas sólidas do solo durante o processo de compactação fazem com que o espaço aéreo do solo sofra redução, assim como ocorre uma diminuição da quantidade de água armazenável nesse solo. Segundo Hillel (1998), no contexto agrônômico, um solo é considerado compactado quando a sua porosidade total é tão baixa que restringe o processo de aeração, bem como quando o solo é tão coeso e seus poros são pequenos, que chegam a impedir a penetração de raízes, infiltração e drenagem de água.

O limite de aeração mínima necessária para o desenvolvimento de plantas é ainda incerto. Alguns autores (Letey, 1985; Silva et al., 1994) fixaram o valor mínimo de porosidade de aeração, ou macroporosidade, em $0,1 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, porém outros como Hodgson & MacLeod (1989) citam que não existe um único valor fixo que pode ser usado como limite crítico de porosidade de aeração.

Os resultados das avaliações da porosidade do solo, nos anos de 2003 e 2004 são apresentados nas Tabelas 6 e 7, respectivamente. Em 2003 foram avaliadas duas profundidades, de 0-5 e de 5-10 cm, após o término do período de pastoreio, no mês de outubro. Como se pode observar, assim como ocorreu para a densidade do solo em 2003, não foi registrado efeito do pisoteio bovino na macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo, nas duas profundidades. Na camada superficial os valores de macroporosidade observados apresentam-se acima do limite mínimo de $0,1 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, e na camada subsequente esses valores apresentam-se ligeiramente abaixo do referido índice.

Comparando os valores obtidos nos tratamentos com os observados no campo nativo (Tabela 4), percebe-se uma redução mais pronunciada da macroporosidade do solo, porém a porosidade total não mostrou tanta variação. O que ocorre é o incremento na microporosidade do solo, devido à implantação do sistema plantio direto, que provoca ao mesmo tempo, nos primeiros anos de adoção, um aumento da densidade e uma redução na macroporosidade e porosidade total do solo (Klein & Libardi, 2002). Esse efeito é mais pronunciado na camada superficial, e tende a alcançar um estado de equilíbrio com o avanço do tempo de adoção do sistema. Em sistemas já consolidados e com elevado aporte de matéria seca e rotação de culturas, ocorre o incremento do conteúdo de carbono orgânico do solo, e este aumento pode ser responsável pela diminuição da densidade e recuperação da porosidade do solo, inclusive a níveis mais elevados em relação aos encontrados no próprio campo nativo.

Tabela 6. Microporosidade, Macroporosidade e Porosidade Total do Solo, em duas profundidades, segundo a Frequência de Pastoreio empregada na pastagem de inverno (SP = Sem Pastoreio; P28 = Pastoreio a cada 28 dias; P14 = Pastoreio a cada 14 dias). Jari – RS, outubro de 2003.

POROSIDADE DO SOLO			
FREQÜÊNCIA de PASTOREIO	MACRO	MICRO	TOTAL
	dm ³ dm ⁻³	
<u>Camada 0-5 cm</u>			
SP	0,12a*	0,46a	0,58a
P28	0,12a	0,46a	0,58a
P14	0,14a	0,43a	0,57a
<u>Camada 5-10 cm</u>			
SP	0,08a	0,44a	0,52a
P28	0,08a	0,41a	0,49a
P14	0,09a	0,40a	0,49a

*Médias seguidas por mesmas letras, na mesma coluna e camada não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

A porosidade do solo avaliada após o término do período de pastoreio no ano de 2004 (Tabela 7) indica que os sistemas de pastoreio influíram significativamente na macroporosidade e porosidade total do solo, nas camadas de 0-5 e 5-10 cm. O aumento da frequência de pastoreio, de 28 para 14 dias de intervalo, diminuiu significativamente a macroporosidade na camada superficial, passando de 0,10 para 0,07 dm³ dm⁻³, sendo que ambas diferiram significativamente da área não pastejada. Os resultados são semelhantes aos obtidos por Vizzotto et al. (2000), que encontraram redução significativa na macroporosidade e porosidade total do solo após o término do período de pastejo contínuo com lotação fixa de 4 animais ha⁻¹, num solo de várzea. Os autores avaliaram novamente a porosidade do solo seis meses após o término do período de pastejo e concluíram que esse intervalo de tempo não foi suficiente para a recuperação total dos valores obtidos antes do pastoreio, porém há um efeito das raízes das plantas a favor da descompactação, com ligeiro aumento da macroporosidade na camada superficial do solo.

Na camada de 5-10 cm de profundidade, a macroporosidade foi inferior somente no P14, que apresentou valor abaixo de 0,10 dm³ dm⁻³. Esse resultado demonstra que uma utilização mais intensiva da pastagem de inverno, com maior tempo de permanência dos animais na área da pastagem, e conseqüentemente maior pisoteio, ocasiona compactação do

solo, o que pode provocar prejuízos tanto para a própria produção da pastagem como também para a produtividade das culturas implantadas em seqüência.

Valores muito baixos de macroporosidade podem afetar o processo de respiração do sistema radicular, e também influenciar na infiltração e drenagem da água no perfil do solo.

Tabela 7. Microporosidade, Macroporosidade e Porosidade Total do Solo, em três profundidades, segundo a Frequência de Pastoreio empregada no inverno (SP = Sem Pastoreio; P28 = Pastoreio a cada 28 dias; P14 = Pastoreio a cada 14 dias). Jari – RS, outubro de 2004.

POROSIDADE DO SOLO			
FREQÜÊNCIA de PASTOREIO	MACRO	MICRO	TOTAL
dm ³ dm ⁻³		
	<u>Camada 0-5 cm</u>		
SP	0,17a*	0,41a	0,59a
P28	0,10b	0,44a	0,55b
P14	0,08c	0,42a	0,51c
	<u>Camada 5-10 cm</u>		
SP	0,10a	0,39a	0,49a
P28	0,10a	0,39a	0,49a
P14	0,07b	0,38a	0,46b
	<u>Camada 10-15 cm</u>		
SP	0,10a	0,38a	0,49a
P28	0,10a	0,38a	0,49a
P14	0,08a	0,38a	0,46a

*Médias seguidas por letras iguais, na mesma coluna e profundidade, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

Na camada de 10-15 cm de profundidade, não houve diferença significativa em nenhum tratamento, para nenhuma avaliação de porosidade realizada, embora no P14 a macroporosidade e a porosidade total mostraram-se ligeiramente inferiores ao P28 e à área não pastejada (SP).

A porosidade total apresentou comportamento semelhante ao da macroporosidade, enquanto a microporosidade não foi alterada pelo pisoteio bovino. Bassani (1996) não encontrou diferença significativa na porosidade total do solo antes e após o pisoteio contínuo de bovinos, durante um período de 4 meses de pastoreio. Uma diminuição significativa foi encontrada para a macroporosidade, na camada de 1 a 8,6 cm de profundidade, onde os

valores obtidos passaram de 0,087 para 0,071 $\text{dm}^3 \text{dm}^{-3}$, avaliados antes e depois do período de pastoreio, respectivamente. O autor atribuiu essa alteração na macroporosidade ao efeito do casco bovino, compactando a camada superficial do solo, mesmo que diferenças na densidade do solo não tenham sido registradas.

Tanner & Mamaril (1959) compararam áreas de pastagem de alfafa, pastejadas e não pastejadas, e encontraram uma redução de aproximadamente nove vezes no valor da permeabilidade do ar na área pastejada. A consequência da compactação provocada pelo pisoteio bovino foi uma redução de 20 % na produtividade da pastagem.

Na Tabela 8 são apresentados os valores de porosidade do solo, avaliados após o término do ciclo das culturas de verão estudadas. Observa-se que houve variações significativas em todas as profundidades e propriedades avaliadas, com exceção da microporosidade nas camadas de 5-10 e 10-15 cm.

A macroporosidade apresentou uma amplitude maior de variação, nas três profundidades, em comparação com a microporosidade e a porosidade total. As alterações encontradas são provenientes da diferenciada ação do sistema radicular das plantas, nesse caso, de espécie leguminosa e gramínea. Não apenas o desenvolvimento e ação das raízes são diferentes, mas também a quantidades de raízes por volume de solo (Venzke Filho et al., 2004).

Os maiores valores de macroporosidade foram encontrados onde a soja era a cultura antecessora, ao passo que os mais baixos valores foram encontrados onde se cultivou o milho em monocultura. Aqui se pode atribuir o fato de que a densidade de comprimento das raízes da soja é maior que a do milho, principalmente na camada superficial, chegando a ser aproximadamente duas vezes maior (Venzke Filho et al., 2004).

Também há diferença quanto à distribuição espacial das raízes, onde a soja apresenta maior crescimento nos primeiros 15 cm. Venzke Filho et al. (2004) avaliaram o sistema radicular do milho e da soja, e encontraram uma concentração de raízes finas de soja de 92 %, na camada de 0-10 cm de profundidade, enquanto o milho apresentou apenas 28 %. A quantidade de matéria seca de raízes e o diâmetro médio de raízes de soja e milho não diferiram estatisticamente, na camada de 0-10 cm de profundidade. Nas camadas mais profundas, o milho apresentou diâmetro de raízes de 0,8 a 2,8 vezes maior que o da soja, o que comprova o benefício que a rotação entre essas duas culturas proporciona ao solo, principalmente em sistema plantio direto, onde não ocorre o revolvimento do solo.

Tabela 8. Macroporosidade, Microporosidade e Porosidade Total do solo em três profundidades, após o ciclo de diferentes sistemas de cultura de verão (MS = Monocultura de Soja; RS = Soja em Rotação de cultura com milho; MM = Monocultura de Milho e RM = Milho em Rotação de cultura com soja). Jari – RS. Abril de 2004.

POROSIDADE DO SOLO			
	MACRO	MICRO	TOTAL
Sistema Culturadm ³ dm ⁻³		
	<u>Camada 0-5 cm</u>		
RS	0,16ab*	0,39c	0,54b
MS	0,19a	0,39bc	0,58ab
RM	0,19a	0,39bc	0,59a
MM	0,13b	0,42a	0,56b
	<u>Camada 5-10 cm</u>		
RS	0,09c	0,37a	0,46c
MS	0,10bc	0,37a	0,47bc
RM	0,13a	0,37a	0,50a
MM	0,08c	0,38a	0,47c
	<u>Camada 10-15 cm</u>		
RS	0,08c	0,37a	0,46c
MS	0,08c	0,37a	0,46c
RM	0,14a	0,37a	0,51a
MM	0,09bc	0,38a	0,48bc

*Médias seguidas por letras iguais, na mesma coluna e profundidade, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

A porosidade total do solo apresentou a mesma dinâmica da macroporosidade, diferindo estatisticamente entre os sistemas de cultura, e diminuindo com o incremento de profundidade. Albuquerque et al. (1995), avaliando o efeito de rotação de culturas sobre a forma da estrutura do solo, encontraram diminuição da densidade e aumento da porosidade total do solo com o uso de rotação de culturas, na camada de 1 a 8,6 cm de profundidade, em comparação com a sucessão de culturas trigo/soja.

4.1.3 RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO

A resistência do solo à penetração (RP) e a umidade volumétrica do solo (UV), avaliadas após a aplicação de três freqüências de pastoreio de inverno, para o período invernal de 2003 é dada na Figura 7. Para o período correspondente ao ano de 2004, os valores são apresentados na Figura 8. Observa-se que na área onde não houve pisoteio bovino (SP), os valores de RP são mais baixos em todas as profundidades estudadas, sendo que este efeito é mais pronunciado e significativamente diferente das outras freqüências de pastoreio entre as profundidades de 0,015 e 0,135 m.

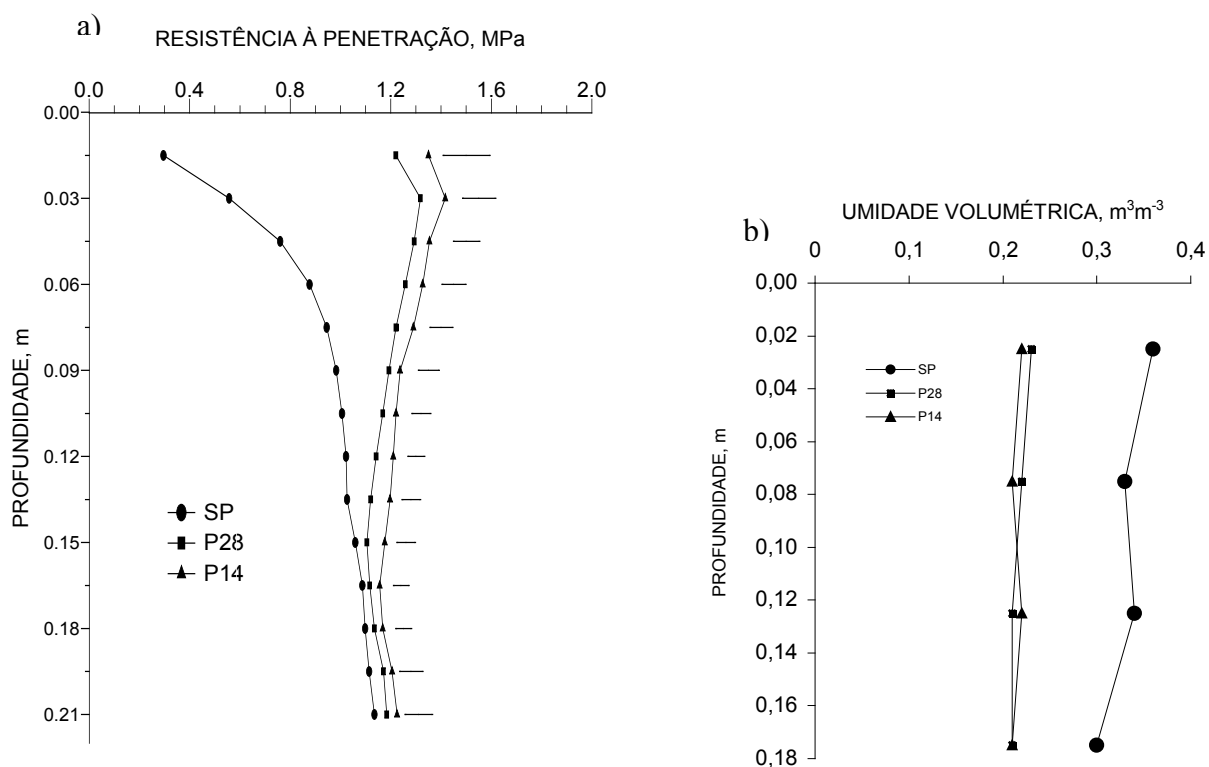


Figura 7. Resistência do solo à penetração (a) e umidade volumétrica do solo (b), em áreas submetidas a diferentes freqüências de pastoreio de inverno (SP = Sem Pastoreio; P28 = Pastoreio a cada 28 dias e P14 = Pastoreio a cada 14 dias). Jari – RS. Outubro de 2003. Barras horizontais comparam os valores de RP pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Os intervalos de 14 (P14) e 28 (P28) dias de descanso entre um pastoreio e outro não proporcionaram diferenças significativas na RP, sendo que para ambos o pico máximo foi atingido na profundidade de 0,03 m, com valores de 1,42 e 1,32 MPa, respectivamente (Figura 7).

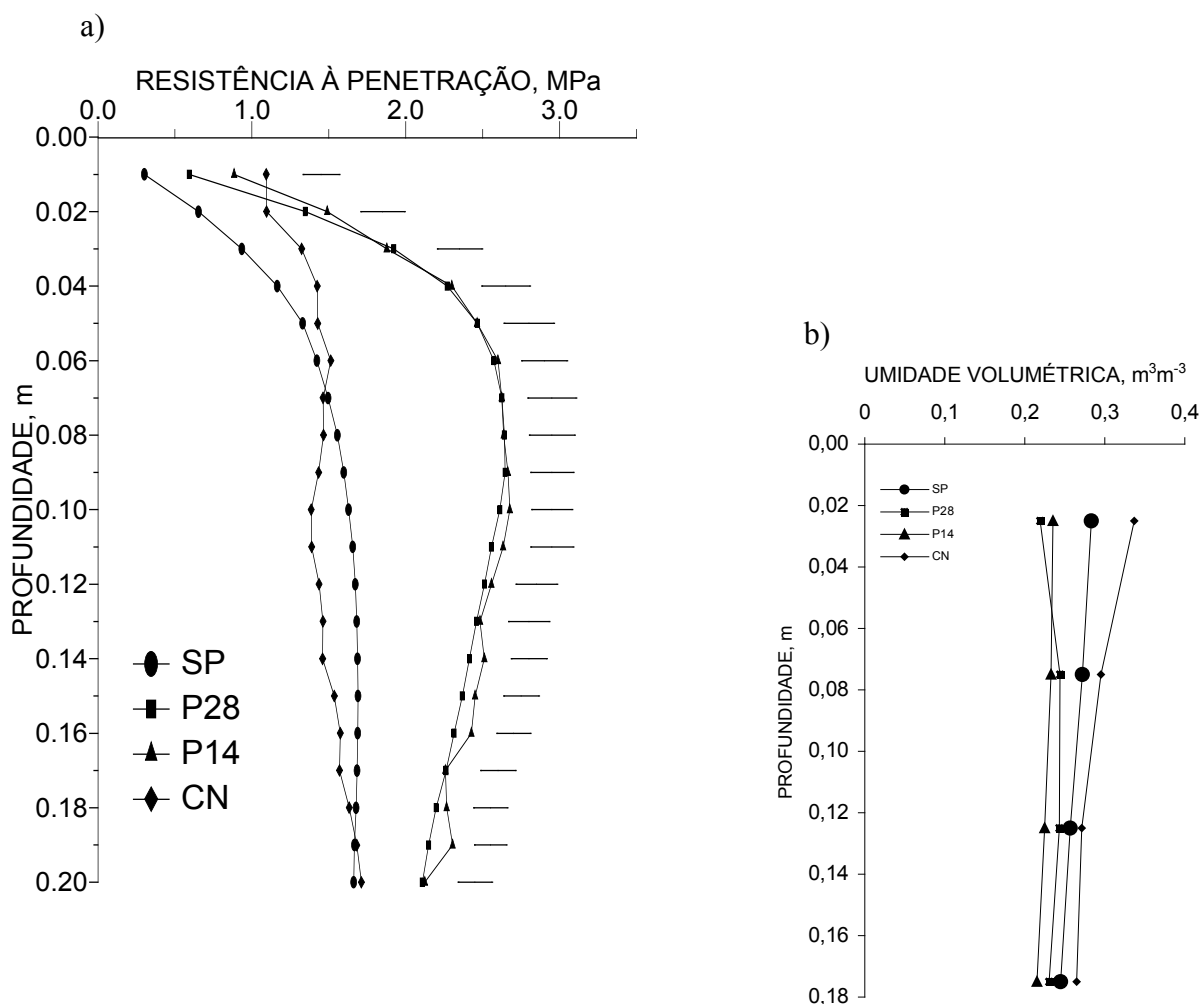


Figura 8. Resistência do solo à penetração (a) e umidade volumétrica do solo (b), em áreas submetidas a diferentes freqüências de pastoreio de inverno (SP = Sem Pastoreio; P28 = Pastoreio a cada 28 dias; P14 = Pastoreio a cada 14 dias e CN = Campo Nativo). Jari – RS. Outubro de 2004. Barras horizontais comparam os valores de RP pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

No ano de 2004 os resultados apresentaram a mesma tendência do ano anterior, com maiores valores de RP para as áreas pastejadas, em relação à não pastejada. Esse comportamento concorda com Clark et al. (2004), que realizando pastoreios em resteva de lavoura de milho, em intervalos de 28 dias, encontrou valores de RP de 21 a 44 % superiores, em relação às áreas não pastejadas.

Para fins de comparação, realizou-se a determinação da RP no campo nativo (CN) também, em 2004 (Figura 8). Os valores obtidos são muito semelhantes aos encontrados nas áreas não pastejadas (SP), principalmente a partir de 0,06 m de profundidade. Esse fato evidencia que o pisoteio bovino provoca alterações no estado de compactação do solo até uma profundidade aproximada de 6 a 10 cm. O pico máximo alcançado no P14 e P28 foi aos 0,09 e 0,10 m de profundidade, onde atingiram valores de RP de 2,68 e 2,64 MPa, respectivamente (Figura 8).

Trein et al. (1991) encontraram compactação do solo devido ao pisoteio bovino com lotação elevada (200 bovinos ha⁻¹) em curto período de pastejo (40 horas), refletido na resistência do solo à penetração. Os valores obtidos para a camada de 0-0,075 m passaram de 0,84 para 4,03 MPa, antes e após o pastoreio, respectivamente.

Os valores obtidos em 2003 são relativamente baixos, inferiores ao limite crítico de 2 MPa proposto por Taylor et al. (1966). Já em 2004 os valores apresentaram-se acima desse limite, o que seria restritivo ao desenvolvimento de raízes de plantas cultivadas posteriormente. Porém, esse limite é discutido e variável, dependendo de cada tipo de solo e uma série de propriedades complementares.

Tavares Filho et al. (2001) concluíram que valores de resistência à penetração superiores a 3,5 MPa não restringiram o desenvolvimento do sistema radicular do milho, porém alteraram a sua morfologia. Lipiec & Hatano (2003) citam que valores de resistência à penetração variando de 1 a 1,7 MPa começam a causar redução do desenvolvimento radicular, e que valores entre 3 e 4 MPa causam a paralisação do crescimento das raízes.

Na Figura 9 e 10 são apresentadas as evoluções da resistência à penetração e umidade volumétrica do solo durante o período de pastejo de inverno do ano de 2003, para os tratamentos P14 e P28, respectivamente. As avaliações foram realizadas logo após a realização dos pastoreios, concomitantemente com a coleta de solo para determinação da umidade volumétrica.

No primeiro ano de avaliação do experimento, com exceção dos resultados obtidos na avaliação após o segundo pastoreio, observa-se uma leve tendência de incremento de RP com o aumento do número de pastoreios. A realização de dois pastoreios a mais no P14, em

relação ao P28, determinou no final do período de pastejo, maiores valores de RP, como pode ser observado na Figura 9.

Na frequência de 28 dias de intervalo (P28), realizou-se apenas três pastoreios nas áreas submetidas a esse tratamento, o que pode ter determinado uma menor amplitude de variação na RP, em comparação com o P14 (Figura 10).

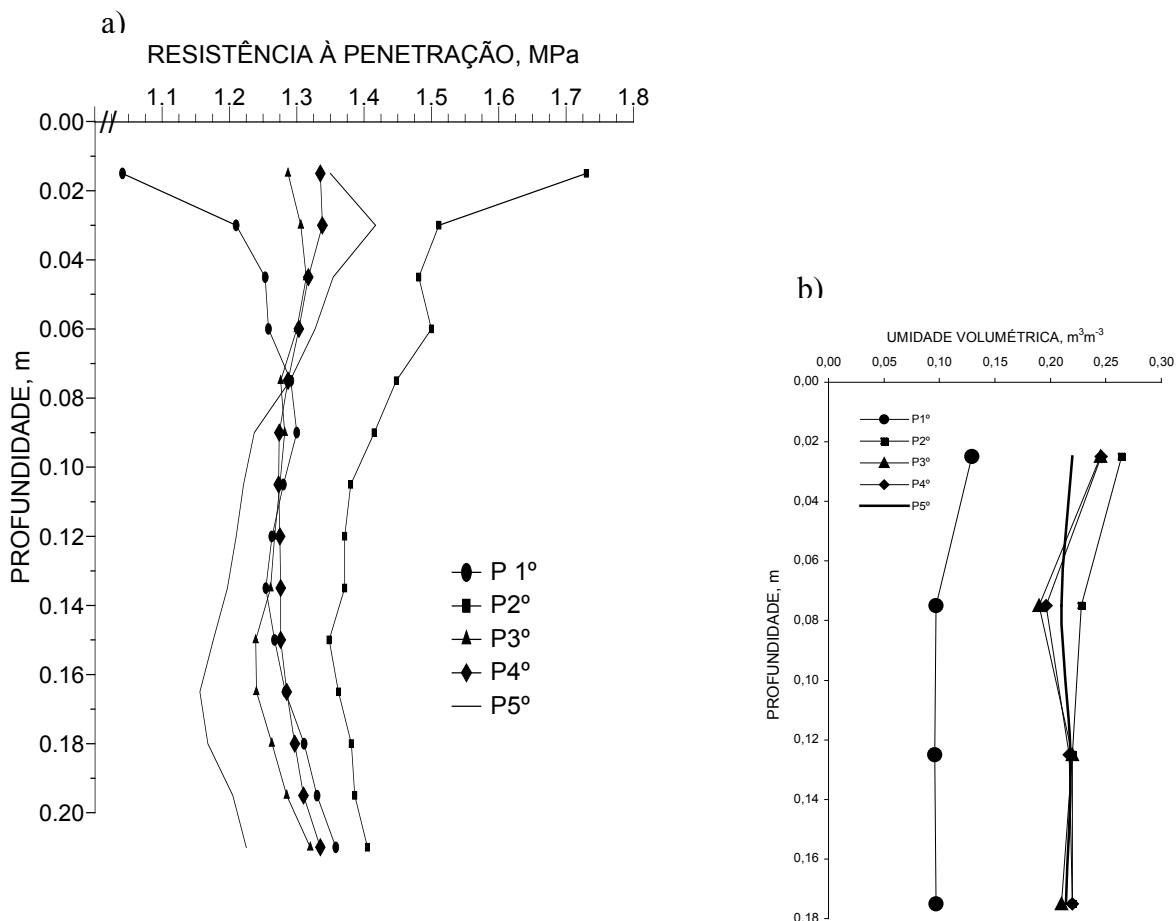


Figura 9. Evolução da resistência do solo à penetração (a) e umidade volumétrica do solo (b), em área submetida ao pastoreio bovino com intervalos de 14 dias de descanso da pastagem. Jari – RS. Inverno de 2003.

Outro fator determinante da diferença entre as duas evoluções de RP é explicado pela Figura 21. A maior produção de matéria seca no P28 teve papel importante na proteção do solo submetido ao pisoteio bovino. A cobertura do solo proporcionada pela pastagem exerce um efeito amortecedor do choque da pata do bovino com a superfície do solo.

Assim, entre o contato da pata do animal e a superfície do solo, a massa vegetal verde da pastagem evita o contato direto do pisoteio bovino com o solo, amortecendo o impacto causado pelo casco do animal e reduzindo o risco de uma possível compactação superficial do solo (Bassani, 1996). Esse efeito é maior quanto maior for a altura de manejo da pastagem (Cassol, 2003).

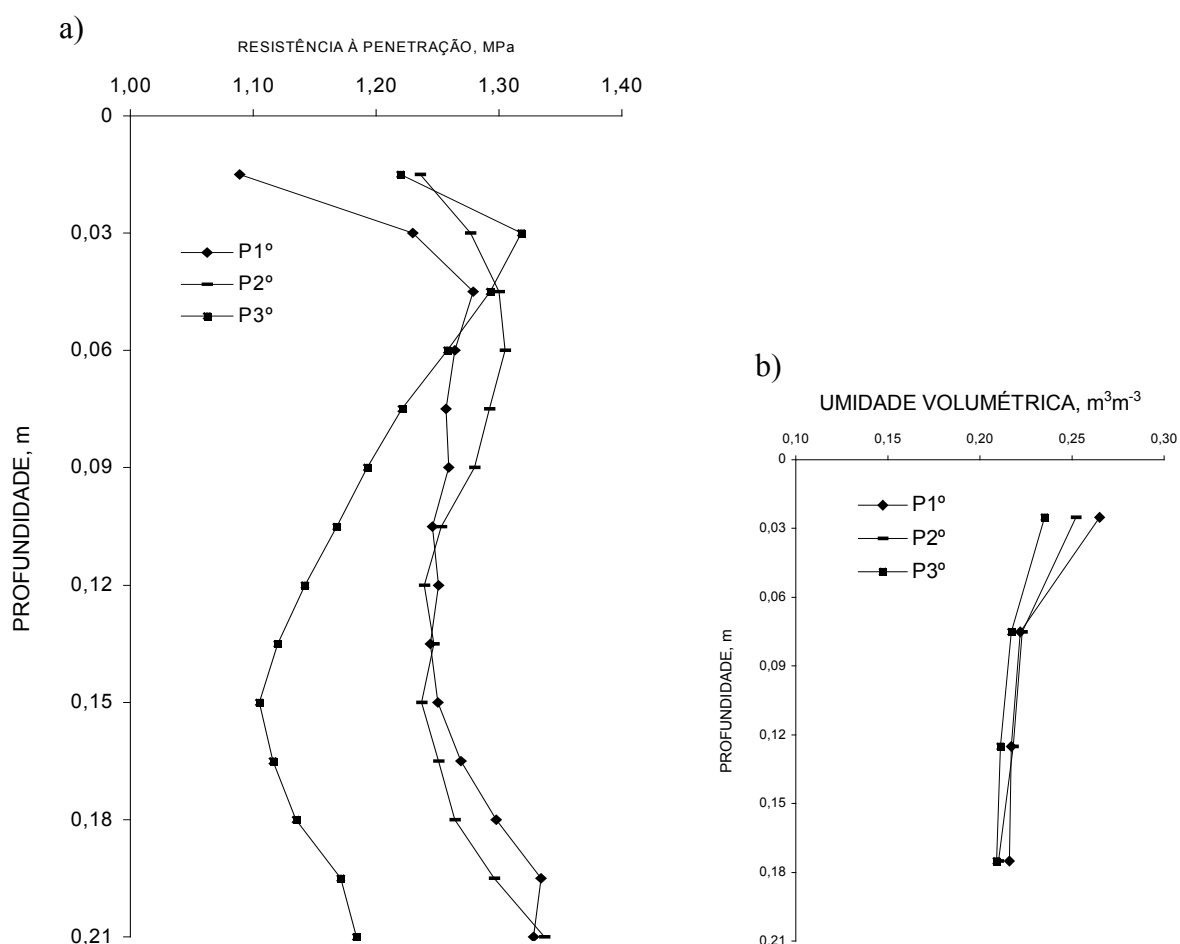


Figura 10. Evolução da resistência do solo à penetração (a) e umidade volumétrica do solo (b), em área submetida ao pastoreio bovino com intervalos de 28 dias de descanso da pastagem. Jari - RS. Inverno de 2003.

A influência da adubação nitrogenada na pastagem de inverno composta por aveia preta e azevém, sobre a resistência do solo à penetração é apresentada nas Figuras 11 e 12, para os períodos de pastejo dos anos de 2003 e 2004, respectivamente.

No primeiro ano de avaliação do experimento, com exceção das profundidades de 0,075 e 0,090 m, a utilização de adubação nitrogenada (200N) na pastagem não proporcionou diferença estatisticamente significativa na RP do solo, em comparação com a não utilização de nitrogênio na pastagem (0N).

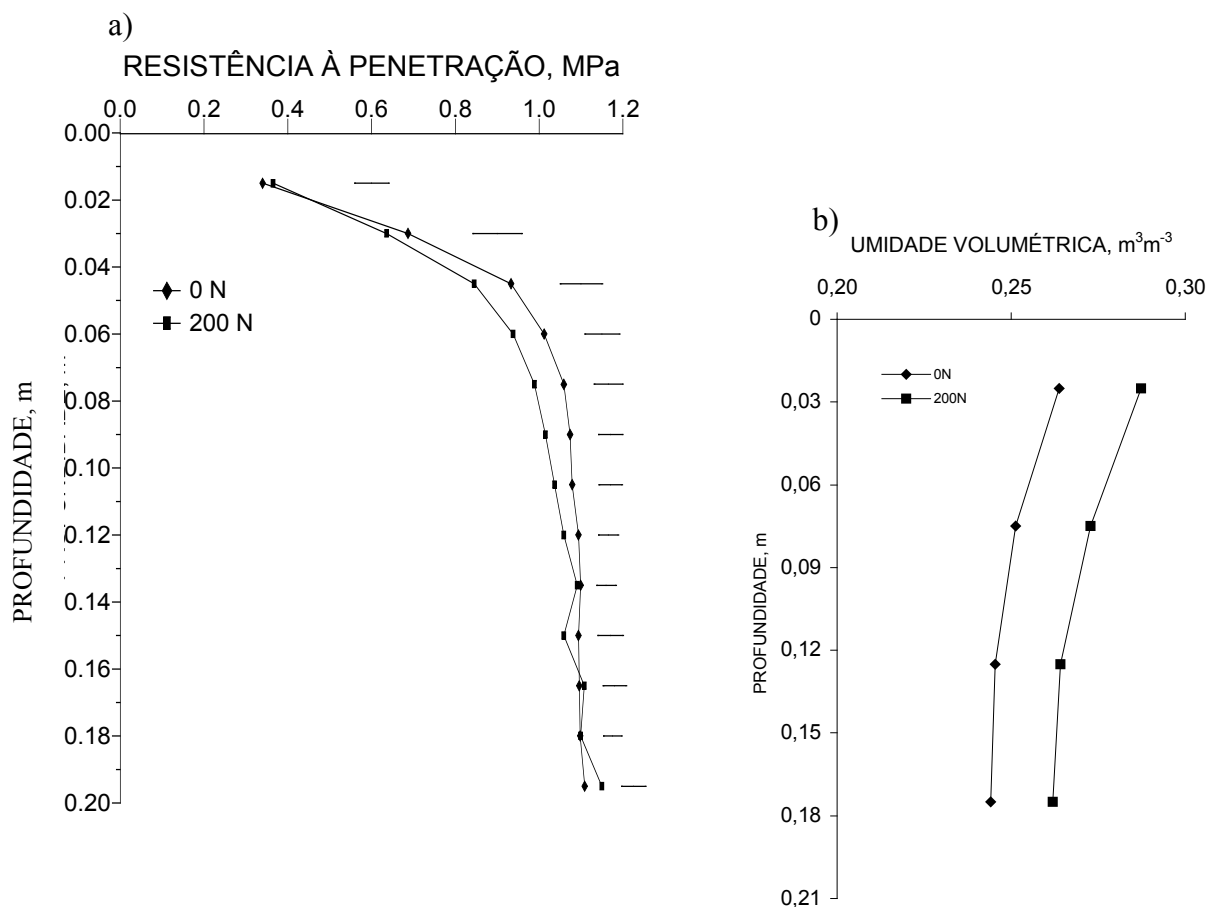


Figura 11. Resistência do solo à penetração (a) e umidade volumétrica do solo (b), em pastagem submetida a duas doses de adubação nitrogenada (0N = 0 Kg N ha⁻¹ e 200N = 200 Kg N ha⁻¹). Jari – RS. Inverno de 2003. Barras horizontais comparam os valores de RP pelo teste de Tukey (P<0,05).

No segundo ano de avaliação do experimento, o tratamento 200N induziu menores valores de RP, em comparação com o tratamento 0N, a partir da profundidade de 0,06 e até 0,20 m. Esse resultado é proporcional ao incremento de produtividade de matéria seca da pastagem (Figura 21), ou seja, quanto maior a produção de forragem, menor o impacto do pisoteio bovino ao solo. A maior produção de matéria seca no tratamento 200N proporcionou redução da RP, mostrando que essa avaliação é mais sensível para a determinação do estado de compactação do solo, pois em comparação com os valores de densidade do solo obtidos nas mesmas parcelas, principalmente em maiores profundidades no perfil, essas alterações não foram evidenciadas.

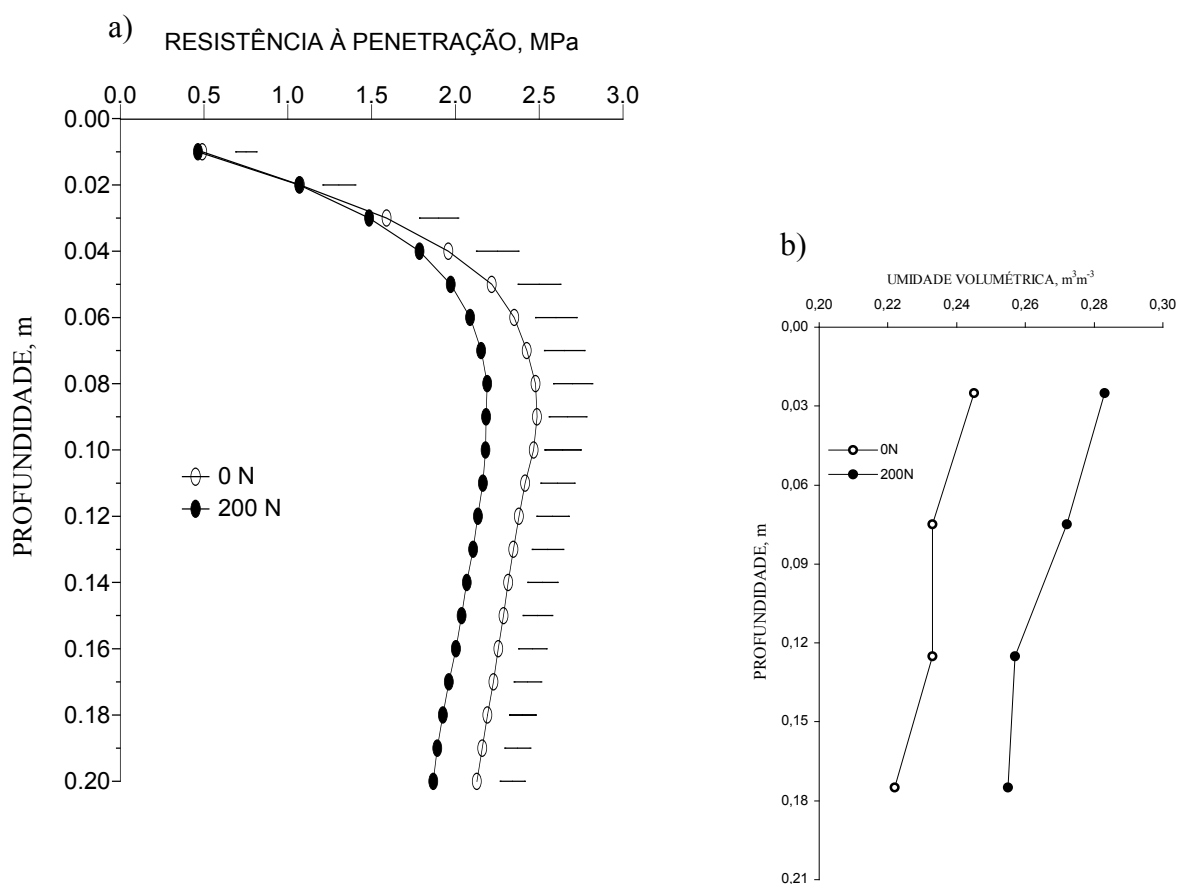


Figura 12. Resistência do solo à penetração (a) e umidade volumétrica do solo (b), em pastagem submetida a duas doses de adubação nitrogenada (0N = 0 Kg N ha⁻¹, e 200N = 200 Kg N ha⁻¹). Jari – RS. Inverno de 2004. Barras horizontais comparam os valores de RP pelo teste de Tukey (P<0,05).

A umidade volumétrica do solo no momento da avaliação da RP exerce influência direta nos resultados, apresentando geralmente relação inversa, ou seja, quanto maior o conteúdo de água no solo menor a RP. Tal efeito pôde também ser observado no presente trabalho, nas Figuras 7, 8 e 12.

A densidade do solo também tem sido correlacionada com a RP, geralmente apresentando relação diretamente proporcional. Porém, a umidade e a densidade do solo podem algumas vezes não apresentar boa correlação com a RP, como observado por Riquelme (2004) e Genro Júnior (2002), que obtiveram valores de r^2 de 0,23 e 0,49, respectivamente. A ocorrência de valores tão baixos de correlação entre a densidade do solo, resistência do solo à penetração e conteúdo de água no solo, como os citados anteriormente e também como os encontrados no presente trabalho ($r^2 = 0,17$), deve-se ao fato de as determinações (RP, Ds e Uv) não serem realizadas na mesma amostra, e sim em amostras que representam a parcela do tratamento e em épocas diferentes (para a densidade do solo).

4.1.4 INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO

A taxa de infiltração de água no solo, dada pelo volume de água que infiltra no perfil de solo por unidade de tempo, é um dos atributos físicos que isoladamente, melhor descreve a qualidade estrutural de um determinado solo. O sistema plantio direto pode ocasionar um certo adensamento da camada superficial do solo, devido ao tráfego de máquinas e implementos agrícolas e também ao pisoteio animal, quando presente. Essa compactação superficial, quando avaliada pela densidade ou porosidade total do solo, pode erroneamente relacionar esse solo a uma baixa qualidade ou produtividade. Porém, segundo Lipiec & Hatano (2003), é a macroporosidade do solo a responsável por aproximadamente 89 % do fluxo de água no solo, e em sistemas conservacionistas de manejo do solo (como o SPD por exemplo), os macroporos e a sua continuidade são preservados, mesmo em condições de densidades do solo mais elevadas.

O pisoteio bovino pode causar compactação do solo, como foi observado pelos dados de densidade, macroporosidade, porosidade total e resistência do solo à penetração, apresentados nas Tabelas 5 e 7 e Figuras 7 e 8, respectivamente. Mesmo que a compactação provocada pelos bovinos seja superficial, na camada de 0-10 cm, a taxa de infiltração de água e a lâmina de água infiltrada acumulada (Figuras 13 e 14) também são afetadas.

A partir dos dados obtidos, equações lineares foram ajustadas para cada curva de infiltração, seguindo o modelo de Kostiakov, onde $TI = a * t^b$, sendo que a e b são constantes que dependem do tipo de solo e das suas condições iniciais, t equivale ao tempo em minutos decorrido entre cada leitura, e TI é a taxa de infiltração, em $mm h^{-1}$. Segundo Hillel (1998), a equação representa adequadamente o processo de infiltração de água no solo, para a maior parte dos intervalos de tempo de interesse agrícola, porém o seu emprego é limitado a situações onde há disponibilidade de dados de infiltração observados, não podendo ser aplicada para outros tipos de solo e condições em que os dados observados foram obtidos.

No momento das avaliações, a umidade volumétrica do solo nos tratamentos SP, P28 e P14, apresentou valores de 0,275, 0,239 e 0,241 $m^3 m^{-3}$, respectivamente. O coeficiente de variação médio observado (CV) foi de 82,7 % para a taxa de infiltração instantânea (Figura 13) e de 77,9 % para a lâmina infiltrada acumulada (Figura 14).

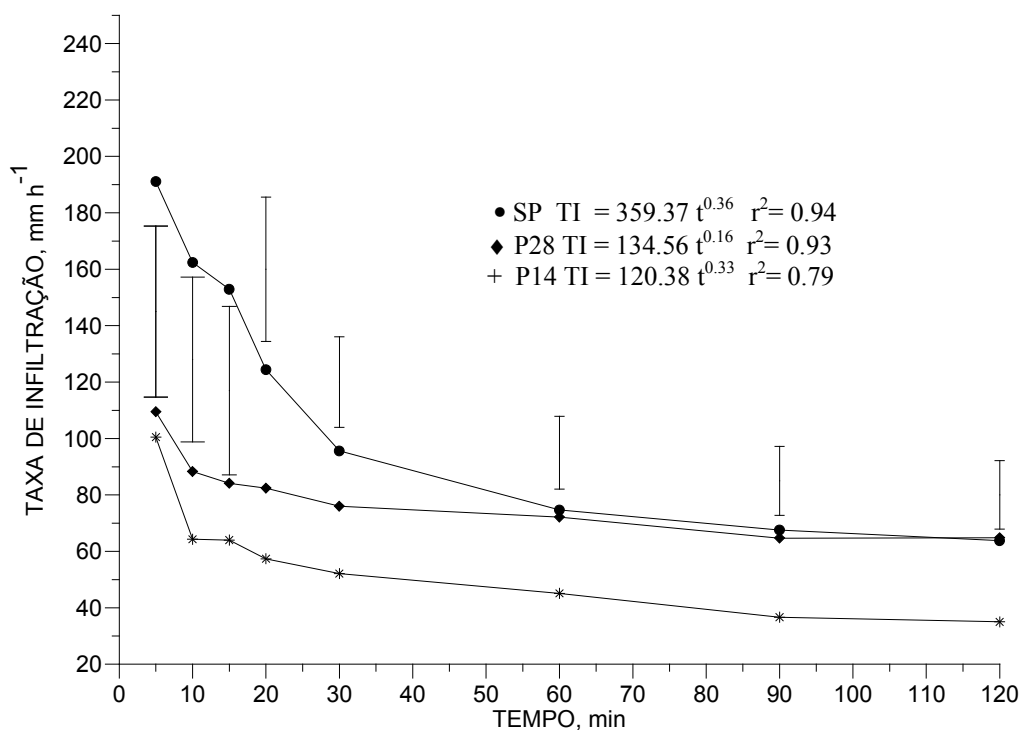


Figura 13. Taxa de infiltração de água no solo (TI), na média dos sistemas de culturas, dentro de cada frequência de pastoreio (SP = Sem Pastoreio; P28 = Pastoreio a cada 28 dias; P14 = Pastoreio a cada 14 dias) em pastagem de inverno composta por aveia preta e azevém. Outubro de 2004. Barras verticais comparam os tratamentos em cada tempo avaliado pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Segundo Forsythe (1975), a determinação da taxa de infiltração utilizando a metodologia dos duplos anéis concêntricos, que determina uma lâmina de água e conseqüentemente uma carga hidráulica sobre a superfície do solo, pode superestimar os valores reais de infiltração em cerca de cinco vezes. Porém, desconsiderando o valor numérico, os resultados são válidos para diferenciar os tratamentos estudados.

A simples presença dos animais na pastagem, realizando um pastoreio a cada 28 dias de intervalo (P28) foi suficiente para diminuir a taxa inicial de infiltração, estatisticamente significativa até 15 minutos de avaliação, não diferindo da área sem pastejo (SP) nos tempos subseqüentes. Observa-se também que durante todo o tempo de avaliação, a taxa de infiltração foi estatisticamente maior no SP, em relação ao P14.

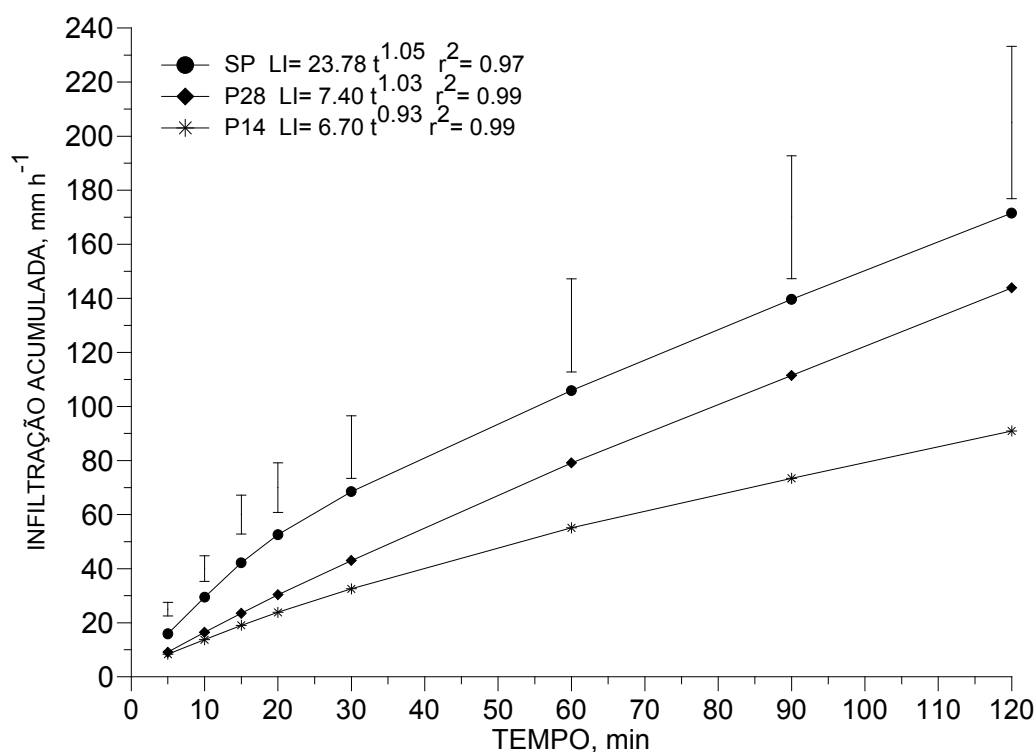


Figura 14. Lâmina de água infiltrada acumulada (LI) na média dos sistemas de culturas, dentro de cada freqüência de pastoreio (SP = Sem Pastoreio; P28 = Pastoreio a cada 28 dias; P14 = Pastoreio a cada 14 dias) em pastagem de inverno composta por aveia preta e azevém. Outubro de 2004. Barras verticais comparam os tratamentos em cada tempo avaliado pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

O sistema de manejo da pastagem com pastoreios a cada 14 dias de intervalo (P14) apresentou a menor taxa de infiltração inicial e final, em relação ao SP, com valores de 100,5 e 35,1 mm h⁻¹, respectivamente. Até o tempo de 60 minutos, as taxas de infiltração obtidas para o P14 e P28 não diferiram estatisticamente, porém nos intervalos de tempo posteriores essa significância foi observada.

Analisando os resultados da Figura 14, observa-se que a lâmina de água infiltrada acumulada no tratamento de maior frequência de utilização da pastagem (P14) apresentou-se, durante todo o tempo de avaliação, abaixo dos valores encontrados onde não houve pastoreio (SP), diferindo significativamente do mesmo e não significativamente do tratamento de 28 dias de intervalo de pastejo (P28). Ao final do período de 120 minutos de avaliação, os tratamentos SP, P28 e P14 apresentaram lâmina infiltrada acumulada de 171,5, 143,8 e 90,9 mm h⁻¹, respectivamente, significando que para esse tipo de solo, nas condições em que foram realizadas as avaliações, houve uma redução de 46,9 e 36,8 % na infiltração quando se utilizou uma frequência maior de utilização da pastagem (P14), em comparação com a não realização de pastoreio (SP) e realização de pastoreio com período de descanso de 28 dias (P28), respectivamente.

O efeito do pisoteio bovino na taxa de infiltração e infiltração acumulada de água no solo também foi estudado por Cassol (2003), que realizando pastejo contínuo em pastagem de aveia preta e azevém manejada a alturas de 10, 20, 30 e 40 cm, encontrou ao final de 100 minutos de avaliação, taxas de infiltração de 32, 39, 73 e 100 mm h⁻¹, respectivamente. A infiltração acumulada apresentou comportamento semelhante, aumentando proporcionalmente com o aumento da altura de manejo da pastagem. Os resultados mostraram que uma maior pressão de pastejo ocasionou diminuição da densidade e macroporosidade do solo, na camada superficial, e em consequência induziu a uma menor infiltração de água.

Trein et al. (1991) avaliaram a taxa de infiltração e a infiltração acumulada de água no solo antes e depois da realização de um pastejo de curta duração com alta lotação animal (40 horas com 200 animais ha⁻¹), e encontraram valores de 121,3 e 38,4 mm h⁻¹, e 390 e 153 mm h⁻¹, respectivamente. Essa redução de 68 % na taxa de infiltração e de 60,76 % para a infiltração acumulada, após o pastoreio, foi atribuída ao aumento na densidade e decréscimo na macroporosidade do solo, também avaliados antes e depois do pisoteio. Os autores citam que a limitada permanência dos bovinos na área do teste teve efeito praticamente instantâneo, levando a inferir que os resultados obtidos sejam válidos apenas para o tipo de manejo realizado, com alta lotação animal por curto período de tempo, como o realizado no presente trabalho.

A influência de diferentes níveis de oferta de forragem (equivalentes a diferentes níveis de pressão de pastejo) na taxa de infiltração de água de um Argissolo Vermelho-amarelo, foi estudada por Bertol et al. (1998). Os autores encontraram redução da taxa de infiltração com a redução da oferta de forragem, equivalente a um aumento de pisoteio animal pelo aumento da pressão de pastejo. O decréscimo na taxa de infiltração foi atribuído a degradação física da estrutura superficial do solo, pelos cascos dos animais, o que refletiu em diminuição dos valores de macroporosidade, principal responsável pelo fluxo de água no solo. Com o aumento do nível de oferta de forragem houve um aumento da taxa de infiltração, proporcionado principalmente pela proteção contra o efeito do pisoteio bovino, oferecida ao solo pela massa vegetal, preservando a estrutura e continuidade dos poros.

Uhde et al. (1996) avaliaram o efeito da realização de um pastejo intensivo (42 horas divididas em dois períodos, de 20 e 22 horas) com alta lotação animal (15000 e 16200 kg PV ha⁻¹ para os dois períodos de pastejo, respectivamente) em pastagem de trevo subterrâneo, na taxa de infiltração e lâmina infiltrada acumulada de água no solo. Os resultados apontaram uma redução de 74,9 e 47,7 % para a taxa de infiltração e infiltração acumulada respectivamente, em comparação com área sem pastejo, onde os valores observados passaram de 177,3 e 312 para 44,5 e 163,5 mm h⁻¹, para as taxas de infiltração de água e lâmina de água infiltrada acumulada, com e sem pastejo, respectivamente. Um resultado interessante obtido pelos autores, e que reforça os dados obtidos no presente trabalho, foi a ausência de efeito do pisoteio bovino sobre a densidade do solo e microporosidade, indicando que essas avaliações podem erroneamente indicar o estado de compactação de um determinado solo. A significativa influência observada na infiltração de água no solo foi atribuída ao dano estrutural causado no solo, pelos cascos dos animais durante o período de pastejo.

O manejo do solo, atuando diretamente na sua estrutura, e o sistema radicular das plantas, proporcionando diferentes níveis de profundidade de exploração e alterações químicas, físicas e biológicas no solo, podem proporcionar diferentes comportamentos na taxa de infiltração de água.

As Figuras 15 e 16 apresentam, respectivamente, a taxa de infiltração e a lâmina de água infiltrada acumulada no solo após duas horas de avaliação, em áreas submetidas a diferentes sistemas de cultura de verão, que foram: Monocultura de Soja (MS), Monocultura de Milho (MM), e Rotação de culturas com Soja e Milho (RSM).

A umidade volumétrica do solo nas áreas onde foram realizadas as avaliações de infiltração de água apresentou valores de 0,225, 0,267 e 0,263 m^3m^{-3} , para os tratamentos MS, MM e RSM, respectivamente. O CV médio obtido para a taxa de infiltração foi de 84,11 % e de 79,95 % para a lâmina infiltrada acumulada.

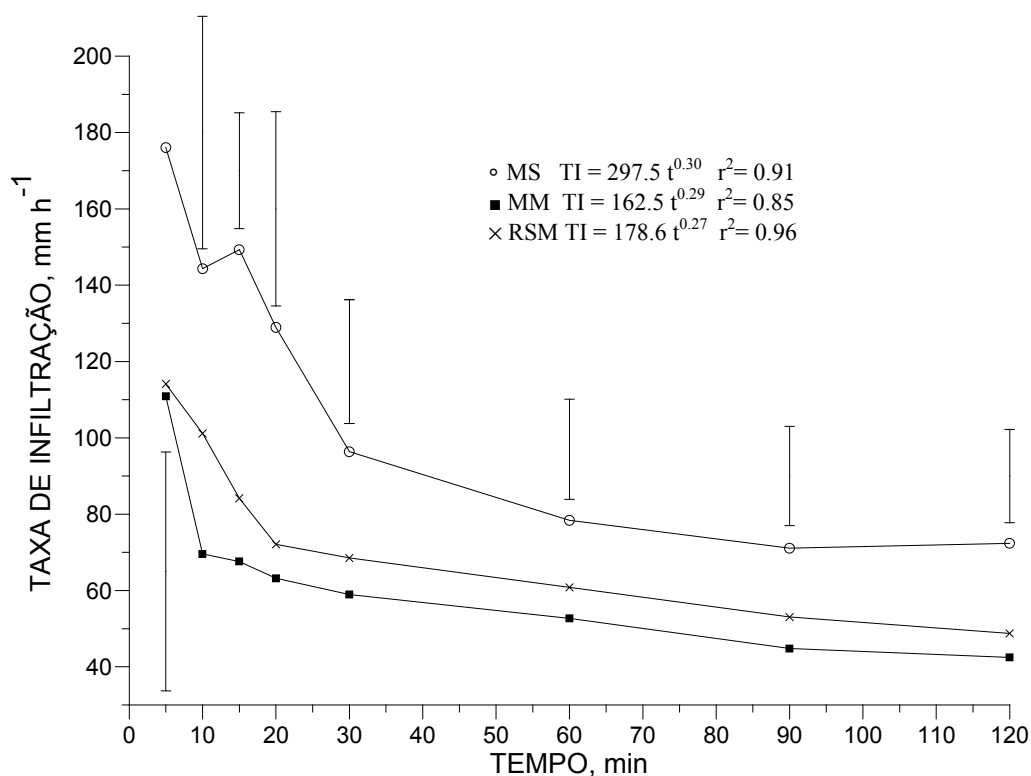


Figura 15. Taxa de infiltração de água no solo (TI), na média dos sistemas de pastoreio dentro de cada sistema de culturas (MS = Monocultura de Soja; MM = Monocultura de Milho; e RSM = Rotação de cultura com Soja e Milho). Jari – RS, outubro de 2004. Barras verticais comparam os tratamentos em cada tempo avaliado pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Observa-se que desde os tempos iniciais o tratamento MS apresentou as maiores taxas de infiltração, diferindo significativamente do tratamento MM, porém não diferindo do tratamento RSM, mesmo apresentando valores superiores em todos os tempos avaliados. O tratamento MM apresentou, em todos os tempos avaliados, valores de taxa de infiltração inferiores aos obtidos para o tratamento RSM, porém não apresentando significância estatística.

Os resultados obtidos demonstram um efeito maior da cultura da soja do que a cultura do milho na infiltração de água no solo. Além do diferenciado aporte de matéria seca da parte aérea proporcionada pelas duas culturas, a morfologia e a área de exploração do sistema radicular também é diferenciada.

Segundo Foloni et al. (2003), o milho não é capaz de romper uma camada de solo compactada que apresente resistência à penetração da ordem de 1,4 MPa. A consequência é que as raízes sofrem alterações morfológicas para conseguir penetrar em poros de tamanho reduzido, estimulando a proliferação de raízes laterais, que são mais finas. Existe portanto uma indicação de relação entre o tamanho e continuidade dos poros, principalmente os macroporos (principal responsável pelo fluxo de água no solo), e o crescimento do sistema radicular das plantas.

Rosolem et al. (1994) mostraram que a compactação do solo reduz o desenvolvimento radicular do milho, porém não afeta o crescimento da parte aérea e a produção total de matéria seca. Essa redução no crescimento do sistema radicular, em função da compactação do solo, pode ter influência direta na infiltração de água no solo.

Venzke Filho et al. (2004) citam que o espaçamento entre linhas de semeadura influi na quantidade e distribuição do sistema radicular das plantas. Os autores encontraram para a soja 92 % de concentração de raízes com diâmetro menor que 0,12 cm na camada de 0-10 cm, enquanto para o milho apenas 28 %. O diâmetro das raízes maiores que 0,12 cm não diferiu entre as duas culturas, porém o milho apresentou maior quantidade em profundidade, em relação à soja. Os autores concluíram que as raízes de milho são mais sensíveis que as raízes de soja quanto à penetração em camadas de solo com algum tipo de restrição. Em solos que apresentam alguma compactação, a cultura implantada pode então estar influenciando, através do seu sistema radicular, a infiltração de água no solo.

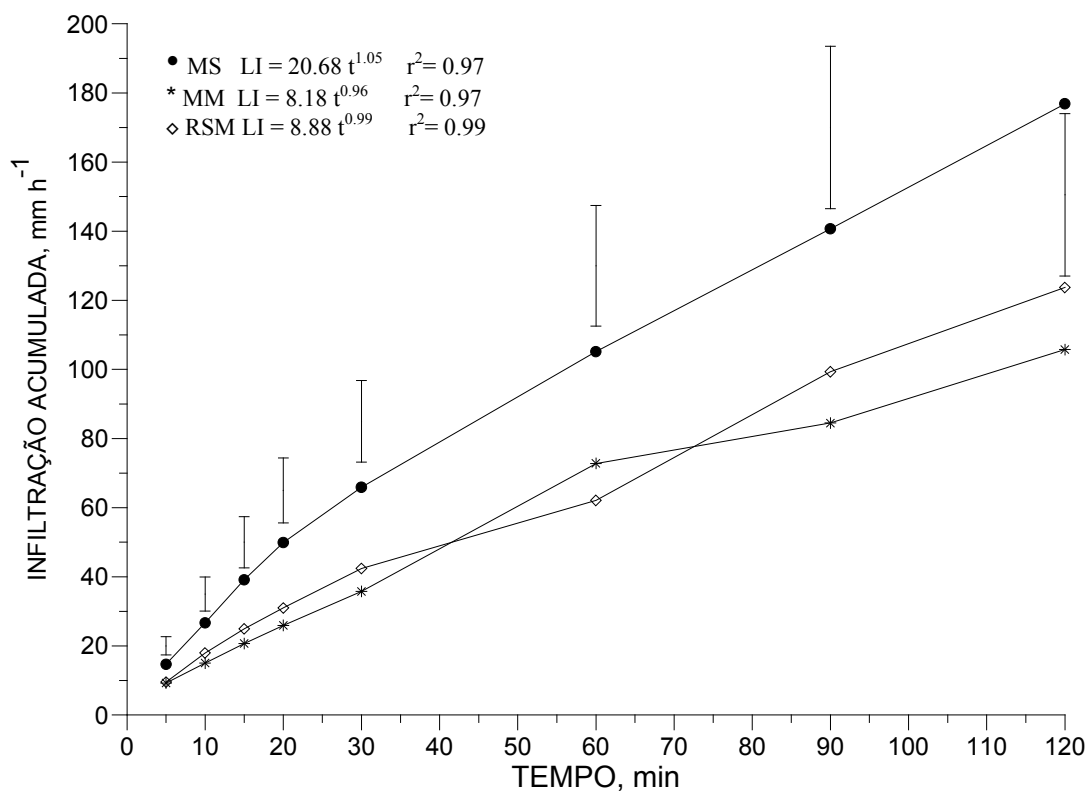


Figura 16. Lâmina de água infiltrada acumulada (LI), na média dos sistemas de pastoreio, dentro de cada sistema de culturas (MS = Monocultura de Soja; MM = Monocultura de Milho; e RSM = Rotação de cultura com Soja e Milho). Jari – RS, outubro de 2004 . Barras verticais comparam os tratamentos em cada tempo avaliado pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Kemper & Derpsch (1981) observaram após o cultivo de trigo, taxa de infiltração de água de 45 mm h^{-1} , enquanto após o cultivo de soja esse valor subiu para 67 mm h^{-1} , o que significa um incremento na taxa de infiltração de 48,9 % com a cultura da soja. Foi avaliada também a taxa de infiltração obtida após o cultivo de trigo com a taxa obtida após a utilização de culturas de cobertura verde do solo, onde os resultados demonstraram um aumento médio de 522 % na taxa de infiltração obtida com as culturas de cobertura. Após essa avaliação, a soja sob plantio direto foi cultivada, e logo após o fim do seu ciclo a taxa de infiltração foi avaliada novamente, sendo que os benefícios das culturas de cobertura do solo ainda estavam presentes.

4.1.5 DISTRIBUIÇÃO DO TAMANHO DE AGREGADOS ESTÁVEIS EM ÁGUA E DIÂMETRO MÉDIO GEOMÉTRICO DE AGREGADOS

A estabilidade estrutural do solo avaliada pelo diâmetro médio geométrico de agregados (DMG), em três sistemas de manejo da pastagem de inverno, é apresentada na Figura 17. Na camada de 0-5 cm de profundidade, as três freqüências de pastoreio apresentaram valores muito próximos, sendo que não houve diferenças significativas entre elas. O tratamento SP apresentou maior média, com DMG de 5,10 mm, seguido pelo P14 com 5,02 mm e P28 com 5,00 mm. O tratamento SP apresentou maior média, com DMG de 5,10 mm, seguido pelo P14 com 5,02 mm e P28 com 5,00 mm.

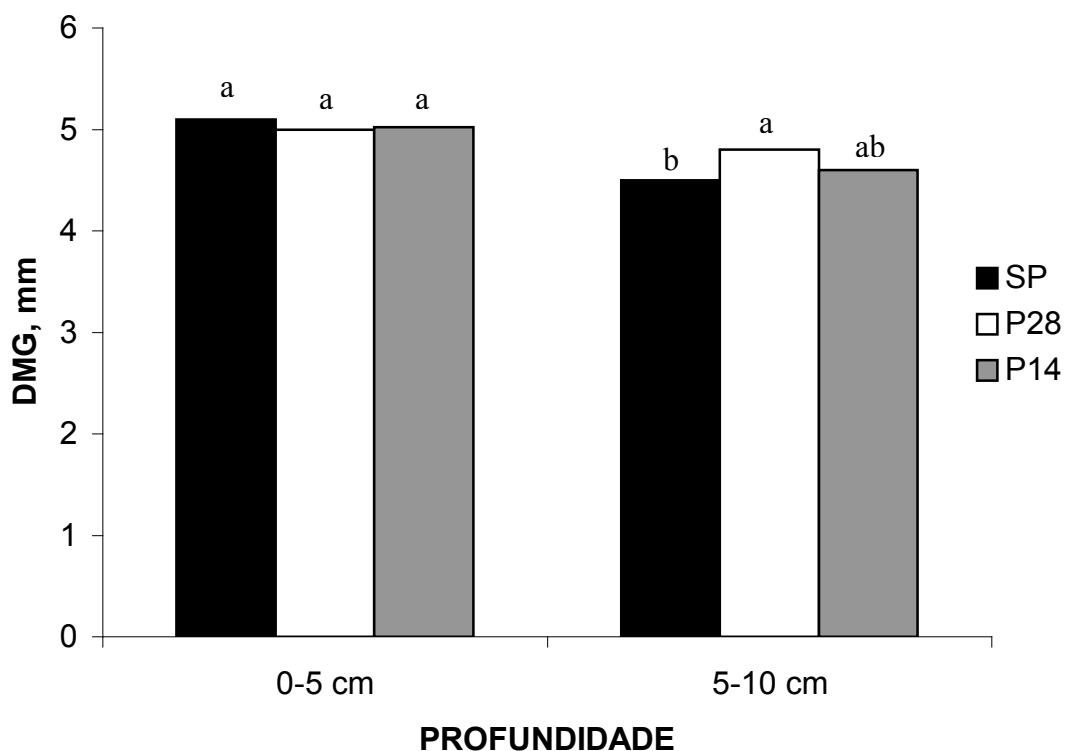


Figura 17. Diâmetro médio geométrico de agregados, na média dos sistemas de culturas e doses de adubação nitrogenada, em pastagem de aveia preta e azevém submetida a três freqüências de pastoreio: Sem Pastoreio (SP), Pastoreio a cada 28 dias (P28) e Pastoreio a cada 14 dias (P14). Jari – RS, outubro de 2004. Médias seguidas de mesma letra, em cada profundidade, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Na camada de 5-10 cm de profundidade, as médias de DMG apresentaram-se ligeiramente inferiores aos da camada superior e com diferenças relativamente maiores entre os tratamentos, com valores de 4,41, 4,83 e 4,56 mm, para SP, P28 e P14, respectivamente. Os dados obtidos não evidenciam efeito negativo do pisoteio bovino na estabilidade estrutural do solo avaliada pelo DMG, pois nas duas camadas avaliadas, a maior frequência de utilização da pastagem (P14) não diferiu significativamente da área onde não houve pisoteio (SP), sendo que na segunda camada o DMG da área pastejada foi inclusive maior do que na área não pastejada, não importando a frequência de pastoreio.

O DMG do solo sob campo nativo com pisoteio contínuo (Tabela 4) apresenta valores superiores aos encontrados nos tratamentos aplicados no presente experimento, nas duas profundidades, o que demonstra mais claramente o efeito do denso sistema radicular das gramíneas constituintes da vegetação do que do pisoteio bovino propriamente dito.

Resultados semelhantes aos do presente trabalho foram encontrados por Bassani (1996), que comparou o DMG de um Argissolo Vermelho-amarelo avaliado antes e depois de um período de 114 dias de pastoreio contínuo com lotação média de 775 kg PV ha⁻¹, com o DMG de uma área não pastejada. No referido estudo, o autor encontrou maior DMG na área pastejada, após o término do período de pastejo, diferindo significativamente da área não pastejada. Tal efeito foi atribuído a um processo de arrançamento das partículas do solo durante o pastoreio, devido ao pisoteio dos animais, que tornou o solo um pouco mais compacto. Foi considerado também que existe um efeito do sistema radicular das plantas constituintes da pastagem, aveia preta e azevém, na formação e estabilização da estrutura do solo.

Bertol et al. (2000) encontraram diminuição do DMG com o aumento da pressão de pastejo e conseqüentemente diminuição da oferta de forragem aos animais. Os autores concluíram que uma oferta de 12 % de forragem é o limite crítico para que não ocorra significativa degradação da estrutura física do solo.

A Tabela 9 apresenta a distribuição da porcentagem de tamanho de agregados em cinco classes de tamanho, avaliada após a aplicação de três frequências de pastoreio de inverno, em pastagem composta por aveia preta e azevém, em duas profundidades no perfil do solo (0-5 e 5-10 cm).

Observa-se que independente da frequência de utilização da pastagem e camada de solo estudada, houve maior concentração de agregados na classe de maior tamanho, de 8,0-

4,76 mm, sendo que a área sem pastoreio (SP) apresentou maior média, seguida pelo P14 e P28, com valores de 85,8, 84,7 e 84,6 %, respectivamente. A área sem pastoreio (SP) apresentou menor percentagem de agregados na menor classe de tamanho, <0,21mm, o que poderia erroneamente levar ao entendimento de que o pisoteio bovino ocasiona uma certa pulverização dos agregados do solo. Porém, tal tendência foi observada apenas na camada superficial, de 0-5 cm de profundidade, sendo que na camada subsequente, onde o efeito compressivo do pisoteio bovino também é atuante, a área sem pastoreio apresentou maior percentagem de agregados (2,9 %).

Tabela 9. Percentagem de agregados em cinco classes de diâmetro, em duas profundidades, em áreas submetidas a três frequências de pastoreio de inverno: SP = Sem Pastoreio; P28 = Pastoreio a cada 28 dias, e P14 = Pastoreio a cada 14 dias. Jari – RS, outubro de 2004.

Profundidade cm	Frequência de Pastoreio	Classe de Tamanho de Agregados, mm				
		8,0-4,76	4,76-2,0	2,0-1,0	1,0-0,21	<0,21
	%.....				
0-5	SP	85,82a*	8,41a	1,10a	1,28a	3,37a
	P28	84,63a	9,11a	0,96a	1,03a	4,24a
	P14	84,72a	9,34a	1,13a	1,31a	3,47a
5-10	SP	75,71a	11,45a	4,94a	4,99a	2,90a
	P28	80,61a	10,57a	3,84a	3,09b	2,22a
	P14	77,06a	11,94a	4,39a	4,04ab	2,56a

*Médias seguidas por mesma letra, na mesma coluna e profundidade, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Com exceção da classe 1,0-0,21 mm na camada de 5-10 cm de profundidade, não houve diferenças estatísticas significativas em nenhuma das freqüências de pastoreio, classes de tamanho de agregados e camadas de solo estudadas.

Os efeitos da utilização de monocultura de soja (MS) ou da rotação da soja com a cultura do milho (RS) e da monocultura de milho (MM) ou da rotação de milho com a cultura da soja (RM), sobre o DMG e a distribuição da percentagem de agregados em cinco classes de tamanho são apresentados na Figura 18 e Tabela 10, respectivamente.

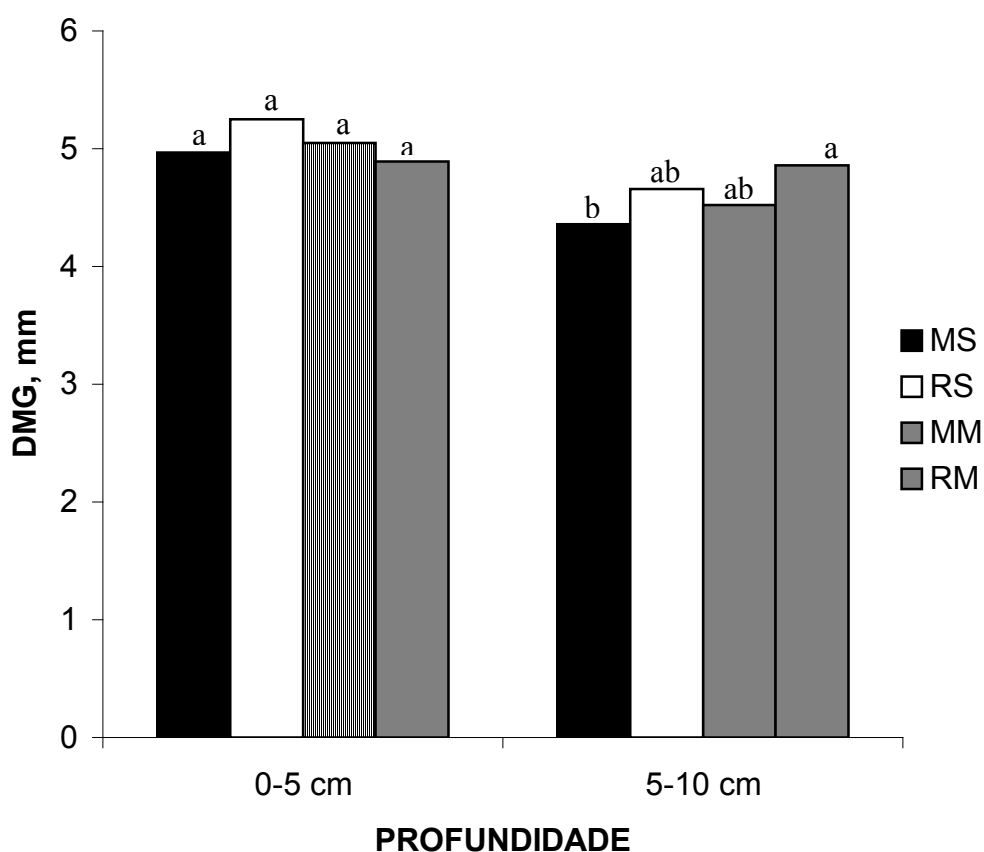


Figura 18. Diâmetro Médio Geométrico de agregados (DMG), na média das freqüências de pastoreio e doses de adubação nitrogenada, em áreas submetidas a diferentes sistemas de cultura de verão (MS = Soja em Monocultura; RS = Soja em Rotação de cultura com milho; MM = Milho em Monocultura e RM = Milho em Rotação de cultura com soja), em duas profundidades no perfil de solo. Jari – RS, outubro de 2004. Médias seguidas de mesma letra, em cada profundidade não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

A influência de sistemas de culturas sobre a agregação de solos é um reflexo de efeitos combinados de diversos agentes físicos, químicos e biológicos, sendo que a contribuição relativa desses agentes para a formação e estabilização dos agregados do solo varia com cada espécie utilizada e da sua combinação em sistemas de cultura (Campos, 1993).

Como pode ser observado na Figura 18, na camada superficial do solo (0-5 cm) o DMG apresentou valores muito próximos entre os sistemas de cultura estudados, não havendo significativa diferença entre os mesmos. Já na segunda camada, de 5-10 cm de profundidade, um efeito positivo da cultura do milho é evidenciado, sendo que na área de rotação deste com a cultura da soja, o DMG foi significativamente superior ao encontrado na área de monocultivo desta leguminosa. Nas áreas de monocultivo da gramínea (MM) e rotação da leguminosa com a gramínea (RS), o DMG foi semelhante ao encontrado na rotação milho/soja (RM), bem como não diferiram significativamente do monocultivo de soja (MS).

Silva & Mielniczuk (1997) citam que as gramíneas são responsáveis por mecanismos e substâncias que agem no sentido de unir os pequenos agregados em agregados maiores, induzindo a maior estabilidade e concentração de agregados nas classes de maior tamanho. Tisdall (1991) afirma também que a estabilidade de agregados do solo aumenta mais rapidamente com o uso de plantas gramíneas do que leguminosas, e da mesma forma com plantas do tipo C4 do que do tipo C3.

Observa-se na Tabela 10 que, com exceção da classe de tamanho de agregado de 2,0-1,0 mm, não houve diferenças significativas entre os sistemas de cultura estudados, bem como nas duas profundidades avaliadas. Novamente a maior concentração de agregados ocorreu na maior classe de tamanho (8,0-4,76 mm), o que é atribuído ao maior conteúdo de carbono orgânico do solo nesta profundidade e à ação do sistema radicular das plantas (Cosentino et al., 1998).

Paladini & Mielniczuk (1991) estudaram a distribuição do tamanho de agregados num Argissolo Vermelho-escuro submetido a diferentes sistemas de cultura, e concluíram que o efeito na agregação provocado pelos sistemas de cultura ocorre principalmente a partir da classe de tamanho 1,0-0,25 mm, para formar agregados maiores que 2 mm. Os autores citam ainda que sistemas de culturas com leguminosas e gramíneas anuais, isoladas ou consorciadas, apresentam menor eficiência na agregação e necessitam um período de tempo maior do que aqueles sistemas com culturas perenes, o que se deve ao menor tempo de atuação por ciclo e menor produção de resíduos vegetais.

Tabela 10. Percentagem de agregados em cinco classes de diâmetro, em áreas submetidas a diferentes sistemas de cultura de verão (MS = Soja em Monocultura; RS = Soja em Rotação de cultura com milho; MM = Milho em Monocultura e RM = Milho em Rotação de cultura com soja), em duas profundidades no perfil do solo. Jari – RS, outubro de 2004.

Profundidade cm	Sistemas de Culturas	Classe de Tamanho de Agregados, mm				
		8,0-4,76	4,76-2,0	2,0-1,0	1,0-0,21	<0,21
	%				
0-5	MS	84,78a*	8,94a	0,86a	1,07a	4,32a
	RS	87,54a	8,14a	0,84a	0,95a	2,51a
	MM	84,16a	10,07a	1,19a	1,54a	3,02a
	RM	83,74a	8,67a	1,37a	1,27a	4,93a
5-10	MS	75,28a	12,00a	4,93a	4,69a	3,07a
	RS	78,29a	10,99a	4,43ab	4,03a	2,24a
	MM	75,87a	12,46a	4,77ab	4,40a	2,48a
	RM	81,72a	9,84a	2,95b	3,03a	2,43a

*Médias seguidas por mesma letra, na mesma coluna e profundidade, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Apesar de não haver diferença estatística significativa, após sete anos da utilização de rotação de culturas e sistemas de cultivo do solo, Campos et al. (1995) concluíram que a rotação de culturas com aveia + ervilhaca/milho - trigo/soja e aveia/soja, e a rotação aveia/soja – trigo/soja, induziram a um maior estado de agregação, dado pelo DMG e pela distribuição do tamanho de agregados, do que a sucessão trigo/soja. No último esquema de rotação de culturas citado, fica evidente o efeito positivo da cultura da aveia na formação e estabilização de agregados do solo.

A Figura 19 apresenta o DMG obtido em pastagem composta por aveia preta e azevém, submetida a duas doses de adubação nitrogenada (0 kg N ha^{-1} e 200 kg N ha^{-1}), em duas profundidades no solo, de 0-5 e de 5-10 cm. Não houve diferença significativa entre a utilização ou não de adubação nitrogenada na pastagem, sobre a estabilidade estrutural do solo. Percebeu-se apenas uma leve tendência, na camada de 5-10 cm, de maior DMG com a utilização de 200 kg N ha^{-1} .

Partindo do entendimento de que as gramíneas são plantas exigentes e responsivas a adubação nitrogenada, a maior produção de matéria seca total da parte aérea com a utilização de 200 kg N ha^{-1} , evidenciada nas Figuras 20 e 21, poderia levar ao entendimento de que haveria uma maior atividade do sistema radicular, e conseqüentemente um maior efeito sobre a agregação do solo, o que não ficou evidenciado pelos dados apresentados na Figura 19.

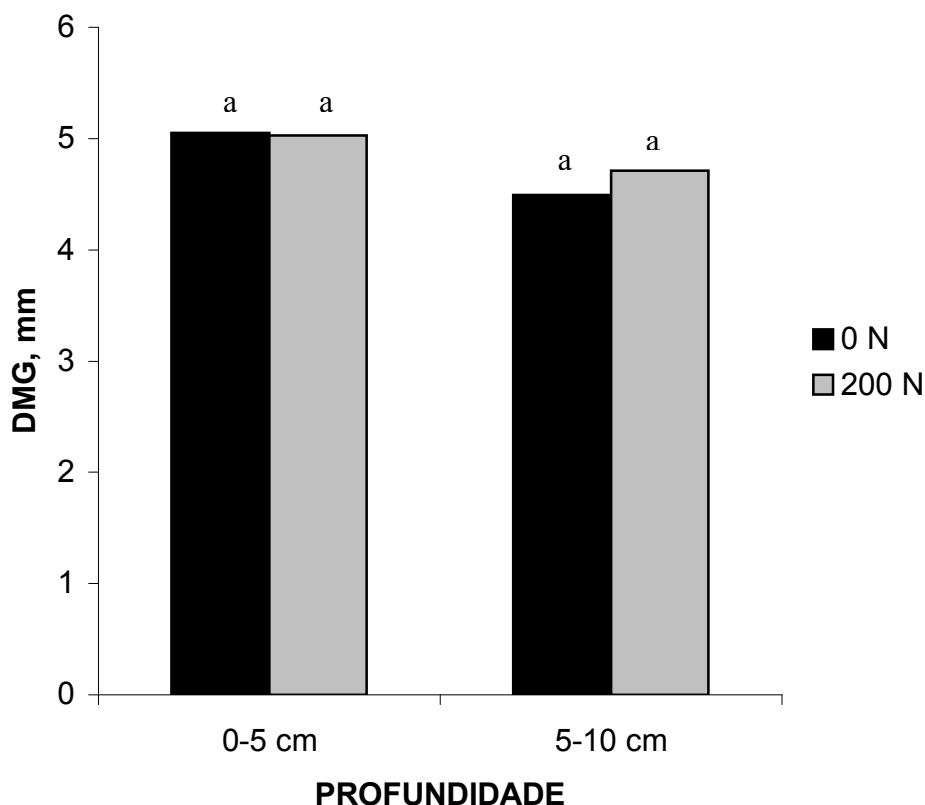


Figura 19. Diâmetro Médio Geométrico de agregados (DMG), na média dos sistemas de culturas e freqüências de pastoreio, em áreas de pastagem de inverno submetidas a duas doses de adubação nitrogenada ($0\text{N} = 0 \text{ kg N ha}^{-1}$; e $200\text{N} = 200 \text{ kg N ha}^{-1}$). Jari – RS, outubro de 2004. Médias seguidas de mesma letra, em cada profundidade, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Lange (2002) estudou a influência de doses de palhada e nitrogênio na retenção de água, densidade do solo, estabilidade de agregados e índice de floculação de um Latossolo Vermelho distrófico típico sob plantio direto. Mesmo após dez anos da aplicação dos tratamentos, o autor concluiu que a única propriedade física que sofreu influência da adubação nitrogenada foi o índice de floculação. A ausência de maiores efeitos nas propriedades físicas do solo foi atribuída à pequena variação dos teores de carbono orgânico total do solo e à uniformidade dos atributos do solo proporcionada pelo longo tempo de adoção do sistema plantio direto.

4.2 PARÂMETROS DE PRODUTIVIDADE DA PASTAGEM DE INVERNO

4.2.1 PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA

A produção remanescente de matéria seca da pastagem de inverno constituída por aveia preta e azevém, avaliada após a aplicação de três frequências de pastoreio, duas doses de adubação nitrogenada e um período de diferimento de 30 dias, para o ano de 2003, é apresentada na Figura 20. No Apêndice M é apresentada a taxa de acúmulo diário de matéria seca da pastagem, no tratamento P28, para o inverno de 2003.

A máxima produção de matéria seca da pastagem foi alcançada na área sem pastoreio e com utilização de 200 kg N ha⁻¹ (SP 200N), apresentando valor de 9705 kg MS ha⁻¹, diferindo significativamente das demais combinações de frequências de pastoreio e doses de adubação nitrogenada.

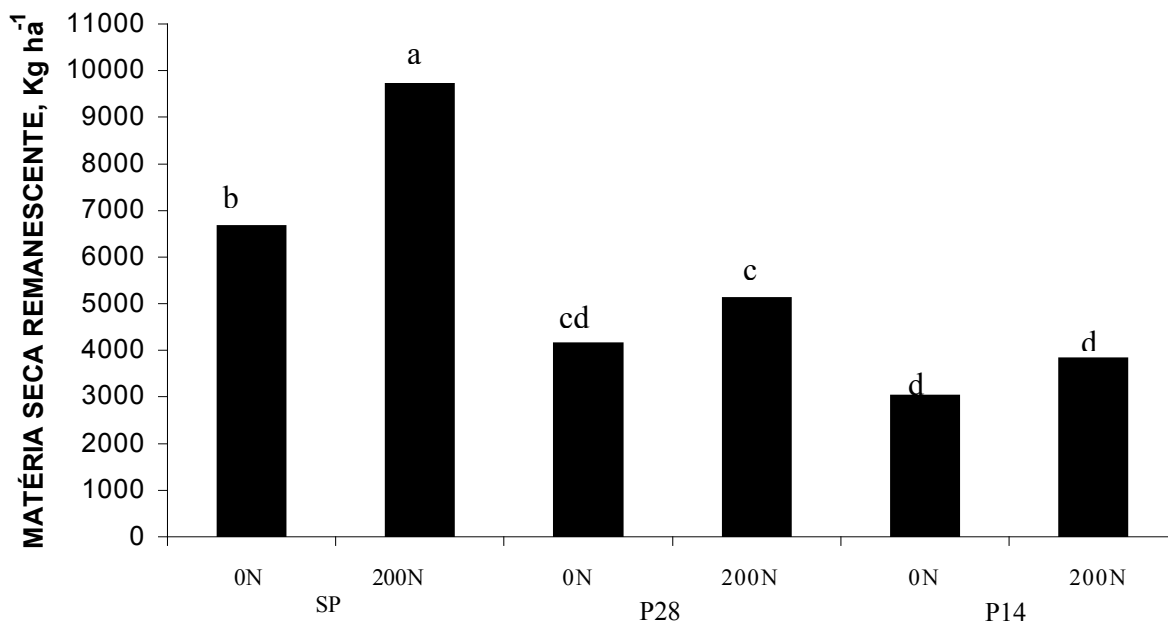


Figura 20. Produção remanescente de matéria seca de uma pastagem constituída por aveia preta e azevém, submetida a três freqüências de pastoreio (SP= Sem Pastoreio; P28= Pastoreio a cada 28 dias; e P14= Pastoreio a cada 14 dias) e duas doses de adubação nitrogenada (0N= 0 kg N ha⁻¹ e 200N= 200 kg N ha⁻¹). Jari – RS, outubro de 2003. Médias seguidas por mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

Observa-se o efeito dos pastoreios sucessivos na pastagem, pelos bovinos, na produção de matéria seca da pastagem. Mesmo com uma baixa freqüência de utilização da pastagem (P28) e com utilização de adubação nitrogenada (200N), a produção de matéria seca remanescente foi significativamente diferente da área não pastejada, não importando se foi utilizada adubação nitrogenada ou não.

O tratamento com a freqüência de um pastoreio a cada 14 dias e a não utilização de adubação nitrogenada na pastagem (P14 0N) apresentou a menor produção remanescente de matéria seca (3016 kg MS ha⁻¹), não havendo diferenças estatísticas significativas quanto à utilização de nitrogênio na pastagem, na dosagem de 200 kg N ha⁻¹ (P14 200N).

Segundo Cassol (2003), uma produção de matéria seca da pastagem de aproximadamente 3000 kg MS ha⁻¹ seria o ponto de equilíbrio para a viabilidade de um sistema de integração lavoura-pecuária, onde não haveria danos ao solo, no que se refere à compactação causada pelo pisoteio bovino, e também não haveria problema de

comprometimento da produtividade de grãos de soja, cultivada em sistema plantio direto posteriormente ao período de pastoreio.

No ano de 2004, a produção de matéria seca apresentou praticamente o mesmo comportamento do ano 2003, com maior produção remanescente de forragem onde houve utilização de adubação nitrogenada na dosagem de 200 kg N ha⁻¹, dentro de cada frequência de pastoreio. A maior média novamente foi alcançada na área sem pastoreio (SP), cujo valor foi de 9900 kg MS ha⁻¹, diferindo significativamente das demais produções (Figura 21).

Com exceção do tratamento P14 0N, que obteve a menor de todas as médias (3790 kg MS ha⁻¹) e do tratamento SP 200N, que foi o mais produtivo, as demais produções de matéria seca remanescente não foram significativamente diferentes.

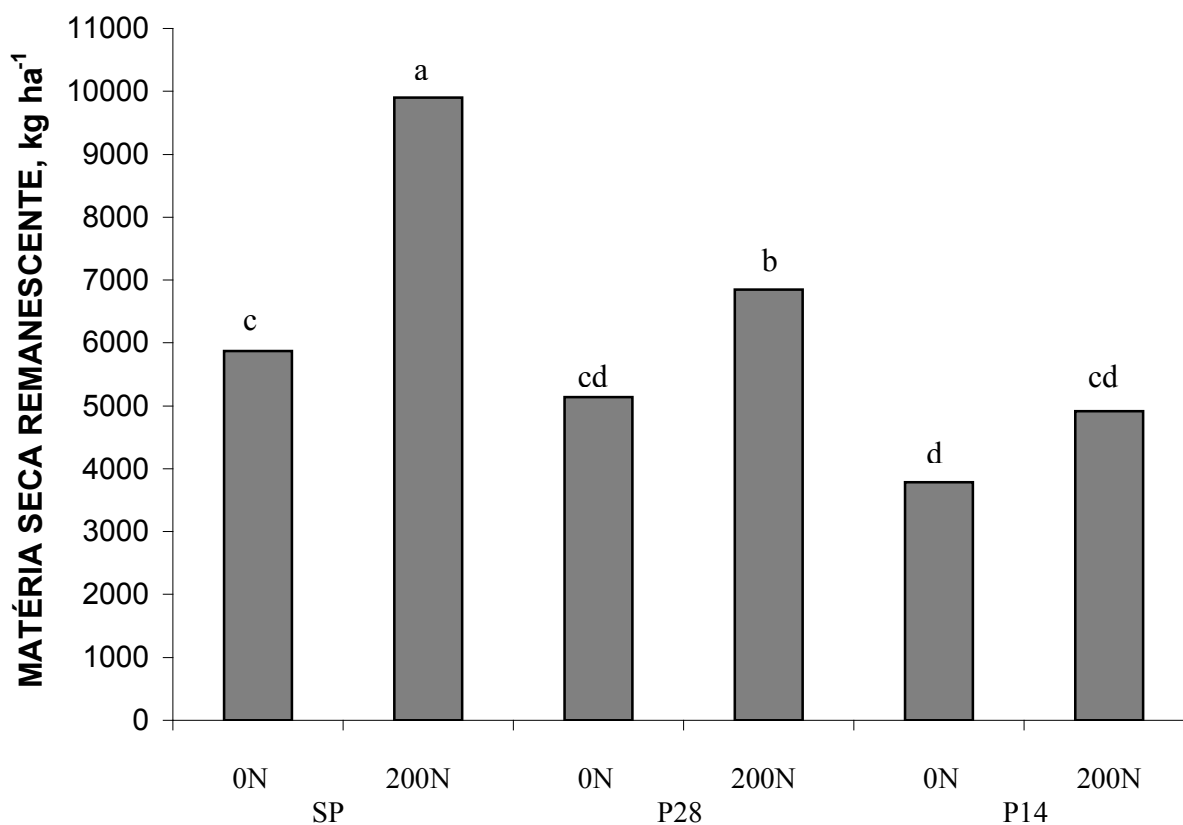


Figura 21. Produção remanescente de matéria seca de uma pastagem constituída por aveia preta e azevém, submetida a três frequências de pastoreio (SP= Sem Pastoreio; P28= Pastoreio a cada 28 dias; e P14= Pastoreio a cada 14 dias) e duas doses de adubação nitrogenada (0N= 0 kg N ha⁻¹ e 200N= 200 kg N ha⁻¹). Jari – RS, outubro de 2004. Médias seguidas por mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

O fato de o tratamento P28 200N apresentar maior produção de matéria seca que o tratamento sem pastoreio e adubação nitrogenada (SP 0N), demonstra que a utilização de uma adequada frequência de pastoreio pode proporcionar até mesmo maiores produções de matéria seca que a não utilização da pastagem para consumo animal, via pastoreio direto.

Uma utilização mais freqüente da pastagem, com um pastoreio a cada 14 dias e utilização de 200 kg N ha⁻¹ (P14 200N), proporcionou quantidade de resíduo vegetal de 4911 kg MS ha⁻¹, o que é suficiente para a implantação, sem maiores problemas, de uma lavoura no sistema plantio direto após o término do período de pastejo e diferimento da pastagem.

Desde que sejam respeitados tanto a capacidade de suporte da pastagem quanto o período de diferimento após o término do período de pastoreio, para que as plantas consigam um rebrote rápido e agressivo, e o sistema radicular trabalhe no sentido de aliviar a pressão exercida pelos cascos dos animais durante o pastoreio, a utilização da pastagem em maior ou menor frequência de pastoreio e a utilização ou não de adubação nitrogenada, do ponto de vista da produção de forragem pela pastagem, vai depender de outros fatores, provavelmente econômicos e/ou de infraestrutura, o que é característico de cada propriedade e sistema de gerenciamento.

Silva et al. (2000) relatam que a manutenção de um residual de matéria seca de aproximadamente 1000 kg ha⁻¹ na superfície do solo foi suficiente para que o pisoteio bovino, depois de um pastoreio contínuo de 107 dias numa pastagem composta por aveia preta e azevém, provocasse reduzido efeito sobre as características físicas de um Argissolo Vermelho-amarelo. Os autores citam que essa quantidade de matéria seca residual proporcionou razoável cobertura do solo e um rápido rebrote e crescimento da pastagem, fazendo com que o impacto das patas dos animais não ocorresse diretamente sobre o solo, e sim sobre o dossel vegetativo, reduzindo o efeito deletério do pisoteio bovino.

4.2.2 ESTIMATIVA DO GANHO DE PESO ANIMAL EM PASTAGEM CULTIVADA

O ganho de peso animal obtido no ano de 2003, apresentado na Figura 22, demonstra claramente a resposta à adubação nitrogenada (200 Kg N ha^{-1}) de uma pastagem composta por gramíneas, nas duas freqüências de pastoreio utilizadas, sendo que o P28 e P14 alcançaram valores de 166 e $142 \text{ kg PV ha}^{-1}$, respectivamente, não apresentando diferenças estatísticas significativas.

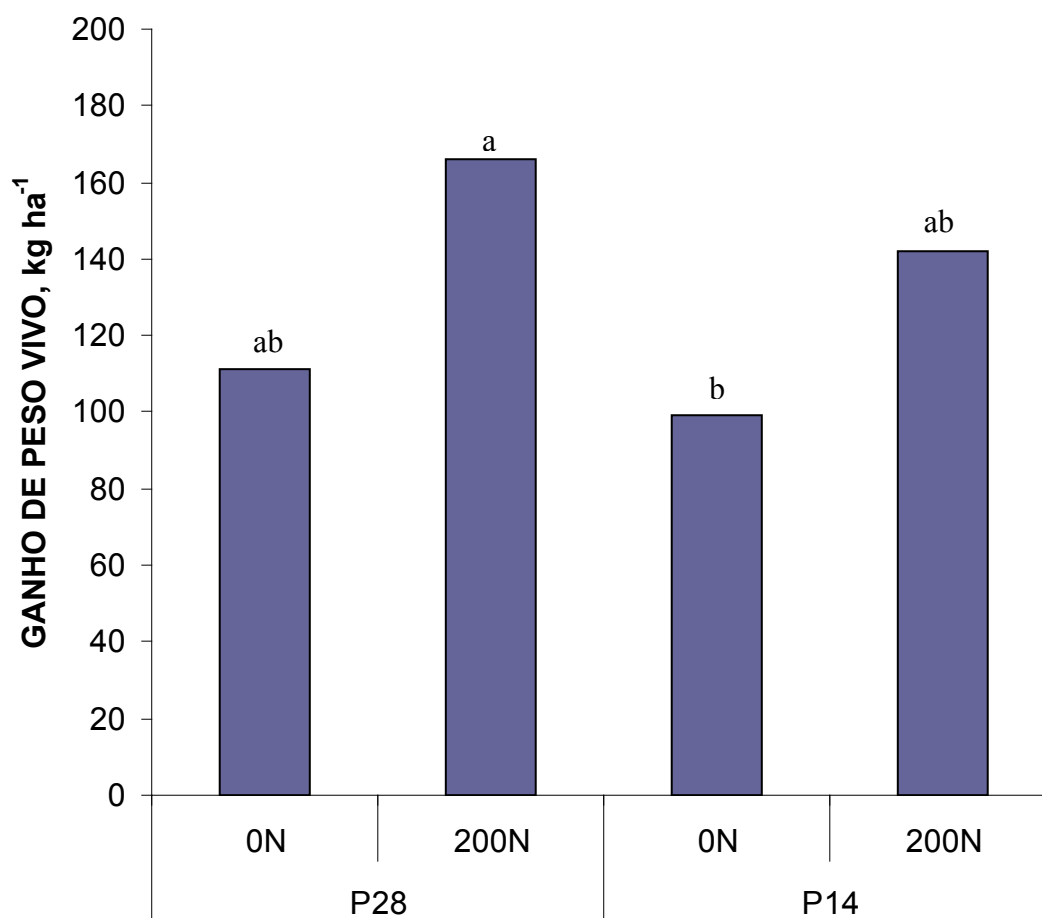


Figura 22. Ganho de peso vivo animal, em função da freqüência de pastoreio utilizada (P28= Pastoreio a cada 28 dias e P14= Pastoreio a cada 14 dias) e dose de adubação nitrogenada (0N= 0 kg N ha^{-1} e 200N= 200 kg N ha^{-1}). Jari – RS, outubro de 2003. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

A realização de um pastoreio a cada 14 (P14) ou a cada 28 (P28) dias, sem efetuar adubação nitrogenada na pastagem, proporcionou ganhos de peso vivo animal de 93,3 e 111,4 kg ha⁻¹, respectivamente, também não diferindo significativamente. A maior diferença na produção animal obtida, estatisticamente significativa, ocorreu entre o P28-200N e o P14-0N, cujos valores de ganho de peso foram, respectivamente, 166 e 99 kg PV ha⁻¹, ou seja, 66,7 quilos ou 67,17 % de produção a mais com a utilização do primeiro.

O maior ganho de peso animal nas áreas adubadas com nitrogênio ocorre devido a maior produção de matéria seca pelas plantas, como pode ser visto nas Figuras 20 e 21, para os invernos de 2003 e 2004, respectivamente. O aumento na produção das forrageiras aparentemente demonstra uma relação linear de resposta à adubação nitrogenada, porém não se conhece o limite de produtividade e o custo benefício da utilização desta.

A Figura 23 apresenta o ganho de peso animal obtido da pastagem de inverno do ano de 2004. Observa-se novamente o efeito positivo do nitrogênio na pastagem de gramínea, com maior produção animal quando da utilização de 200 kg N ha⁻¹, na maior frequência de pastoreio utilizada (P14).

A maior produtividade obtida com a pastagem de inverno do ano de 2004 ocorreu principalmente devido a maior quantidade de chuvas no período de pastoreio, o que favoreceu o crescimento e desenvolvimento das plantas. A maior quantidade de chuvas também fez com que o efeito da adubação nitrogenada fosse menos pronunciado, visto que o conteúdo de matéria orgânica do solo é alto (4,5 %), em comparação com os resultados obtidos no período de pastoreio do ano de 2003.

Não foram encontradas diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos avaliados, para o ano de 2004, sendo que os valores obtidos foram muito semelhantes, apenas com exceção ao resultado apresentado no pastoreio a cada 14 dias (P14) com utilização de 200 kg N ha⁻¹ (200N), que produziu 418 kg PV ha⁻¹, enquanto os demais (P14 0N, e P28 0N e 200N) produziram 361, 344 e 356 kg PV ha⁻¹, respectivamente.

Numa pastagem de inverno constituída por *Coastcross*, Prohmann et al. (2004) avaliaram a produção animal de novilhos inteiros com nove meses de idade, através dos dados de ganho de peso médio diário, submetidos a três suplementações alimentares, entre as quais constava a realização de um pastoreio diário com duração de 4 horas em pastagem composta por aveia preta e azevém. Os resultados indicaram ganhos superiores a 0,85 kg animal dia⁻¹, sendo porém inferiores aos obtidos com suplementação na forma de ração concentrada (>1,0 kg animal dia⁻¹).

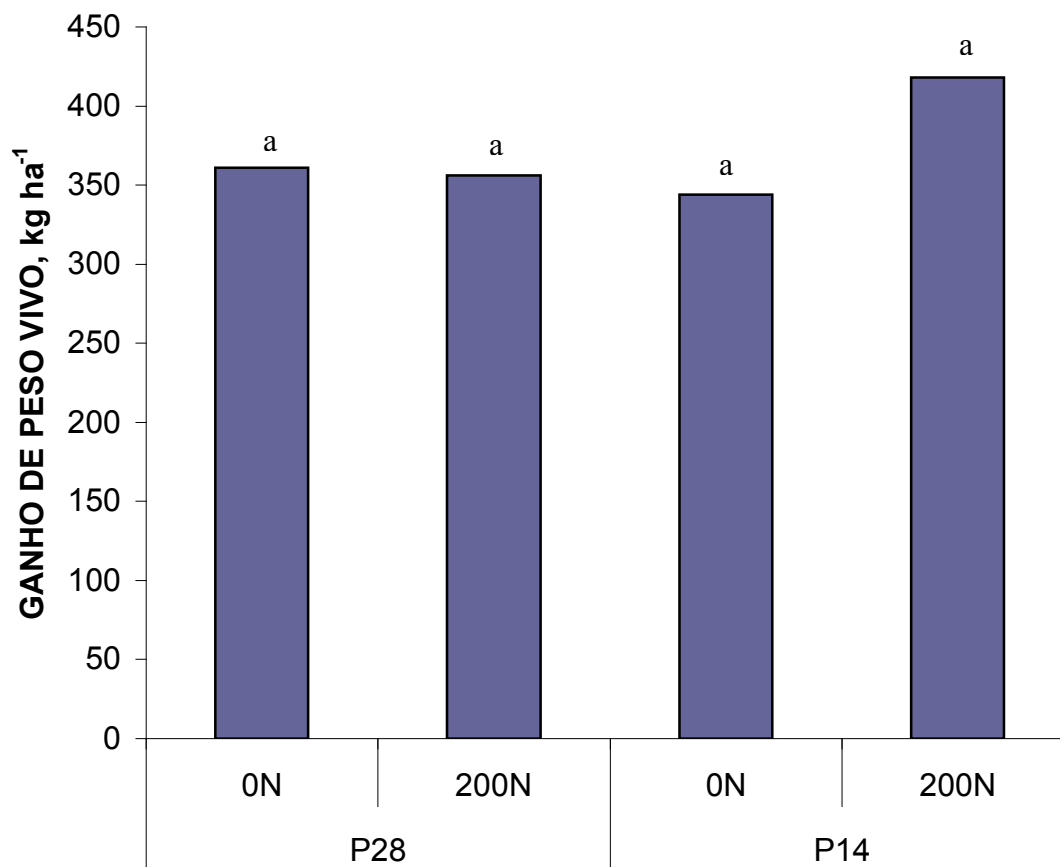


Figura 23. Ganho de peso vivo, em função da frequência de pastoreio utilizada (P28= Pastoreio a cada 28 dias e P14= Pastoreio a cada 14 dias) e dose de adubação nitrogenada (0N= 0 kg N ha⁻¹ e 200N= 200 kg N ha⁻¹). Jari – RS, outubro de 2004. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

Roso (1998) obteve uma produção animal de 726 kg PV ha⁻¹ com uma pastagem composta por aveia preta e azevém, submetida ao pastoreio contínuo com lotação variável, utilizando terneiros cruzas Charolês x Nelore com sete meses de idade. O autor atribuiu o elevado ganho de peso animal ao longo período de utilização da pastagem, de maio a novembro (seis meses), e à elevada capacidade de suporte da pastagem, a qual apresentou uma produção total de matéria seca de 9715 kg MS ha⁻¹.

Avaliando a produção de gado de corte e o acúmulo de matéria seca em sistemas de integração lavoura-pecuária, em pastagem constituída por aveia preta e azevém e presença ou ausência de trevo branco e nitrogênio, Assmann et al. (2004) concluíram que a elevação

das doses de nitrogênio aumentou de forma linear crescente o acúmulo e a produção de matéria seca da pastagem. A carga animal e o ganho de peso vivo dos animais também aumentaram com o incremento de nitrogênio na pastagem.

Comparando pastagens de inverno constituídas por aveia preta + azevém + ervilhaca, aveia preta + ervilhaca, e aveia preta + 100 kg N ha⁻¹, submetidas ao pastoreio contínuo com lotação controlada, Canto et al. (1997) obtiveram ganho de peso vivo de 274, 212 e 273 kg ha⁻¹, respectivamente. Os dados demonstraram que a utilização de nitrogênio em pastagem de inverno constituída por gramínea, pode proporcionar ganhos semelhantes aos obtidos em pastagens consorciadas com várias espécies, incluindo leguminosas.

Quadros & Maraschin (1987), realizando pastejo contínuo com novilhos de 6 a 12 meses de idade durante 148 dias, em pastagem de inverno constituída por aveia preta + azevém + trevo vesiculoso, obtiveram ganho animal de 515 kg PV ha⁻¹. Os autores citam que esses resultados são possíveis apenas quando a disponibilidade de forragem não é limitante e se dispõe de altos níveis de digestibilidade na dieta animal.

4.3 PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE SOJA

A safra agrícola de verão 2003/2004 do Estado do Rio Grande do Sul sofreu prejuízos consideráveis na produtividade de grãos de soja, com redução estimada de 20,65% na produção total (IBGE, 2005). Apesar do déficit hídrico ocorrido, a produtividade da soja na área experimental não sofreu maiores conseqüências, pois foi utilizada uma cultivar de ciclo precoce, que no momento em que se intensificou a estiagem, a cultura apresentava-se na fase de maturação de grãos, onde a ausência de chuvas não compromete a produtividade.

A Tabela 11 apresenta os valores da produção de grãos obtidos nas áreas onde foram aplicados os tratamentos de freqüências de pastoreio, sistemas de cultura e doses de adubação nitrogenada.

Tabela 11. Produtividade de grãos de soja, em função do sistema de cultivo (MS = Monocultura; e RS = Rotação de cultura com milho), frequência de pastoreio de inverno (SP = Sem Pastoreio; P28 = Pastoreio a cada 28 dias; e P14 = Pastoreio a cada 14 dias) e dose de nitrogênio na pastagem de inverno (0N = 0 kg N ha⁻¹ e 200N = 200 kg N ha⁻¹). Jari – RS, março de 2004.

	SP		P28		P14		MÉDIA
	0N	200N	0N	200N	0N	200N	
Sistema de Cultura	Kg ha ⁻¹						
RS	4396	3854	3757	3531	3449	3414	3733
MS	3919	3613	3526	3118	3285	3572	3505
MÉDIA	4157	3733	3641	3324	3367	3493	3553 ^{*ns}

*ns = diferenças não significativas pelo teste de Tukey (P<0,05).

Como pode ser observada, a produtividade de grãos não foi afetada nem pela estiagem ocorrida no verão de 2003/2004, nem significativamente por nenhum dos tratamentos aplicados durante a execução do experimento. Embora não diferindo pela estatística, nota-se uma pequena elevação na produção total de grãos na área não pastejada (SP), em comparação com as áreas pastejadas a cada 28 (P28) e 14 (P14) dias, sendo que nestas a produtividade foi muito semelhante. Os dados indicam que o pisoteio bovino ocorrido na pastagem durante o inverno não foi suficiente para proporcionar queda acentuada na produtividade de grãos de soja.

Manejando uma pastagem de aveia preta e azevém, a alturas variando entre 10 e 40 cm, com pastoreio contínuo durante o período invernal, Cassol (2003) também não encontrou efeito significativo do pisoteio bovino na produtividade de grãos de soja, cultivada em sistema plantio direto, num Latossolo Vermelho de textura muito argilosa, da região do Planalto gaúcho.

Com relação ao sistema de cultura utilizado, apesar de também não diferir significativamente, a produção na área onde é realizada a rotação de culturas com o milho apresentou maior produção de grãos, aproximadamente 230 kg ha⁻¹ a mais, em relação à produção onde é realizado o monocultivo de soja.

O efeito positivo da rotação de culturas com soja e milho na produtividade de grãos de soja foi demonstrada por FUNDACEP FECOTRIGO (1998), onde após nove anos de utilização de rotação de culturas com soja e milho, na proporção de 25 % da área com milho e 75 % com soja, obteve-se rendimento médio de grãos de 3196 e 2821 kg ha⁻¹, nas áreas com e sem rotação, respectivamente. O aumento médio de 13 % na produtividade da soja, devido a simples presença da cultura do milho em 25 % da área, proporciona segundo os autores, uma safra extra de soja a cada 7 anos.

Na safra de agrícola de verão 2004/2005, mesmo com a antecipação do plantio e utilização de cultivar precoce, a estiagem ocorrida no Estado do Rio Grande do Sul provocou a perda total da produção de grãos de soja da área experimental. A redução estimada da produção de soja do Estado foi de aproximadamente 62 %, com produção total estimada em 3,2 milhões de toneladas. Segundo levantamento da EMATER – RS em março de 2005, foi a segunda menor produção de soja no Estado do Rio Grande do Sul desde 1974, computando um total de 32 safras agrícolas.

4.4 PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE MILHO

Como citado anteriormente, a safra agrícola 2003/2004 no Estado do Rio Grande do Sul sofreu prejuízos consideráveis, porém como aconteceu também para a cultura da soja, a antecipação do plantio e a utilização de uma cultivar de milho de ciclo precoce fez com que a estiagem não coincidissem com o período crítico de consumo de água, o que proporcionou ainda resultados satisfatórios de produtividade, superiores aos obtidos nas demais lavouras da região.

A Tabela 12 apresenta os resultados de produtividade de grãos de milho, cultivado em sistema de monocultura ou em rotação de culturas com a soja, sob plantio direto, em áreas previamente submetidas a três sistemas de pastoreio de inverno e duas doses de adubação nitrogenada.

Tabela 12. Produtividade de grãos de milho, em função da frequência de pastoreio de inverno (SP = Sem Pastoreio; P28 = Pastoreio a cada 28 dias; e P14 = Pastoreio a cada 14 dias), sistema de cultivo (MM = Monocultura; e RM = Rotação com soja) e dose de nitrogênio na pastagem de inverno (0N = 0 kg N ha⁻¹ e 200N = 200 kg N ha⁻¹). Jari – RS, março de 2004.

	SP		P28		P14		MÉDIA
	0N	200N	0N	200N	0N	200N	
Sistema de Cultura	Kg ha ⁻¹						
RM	9362	8433	7865	7805	6520	8344	8055
MM	8502	8090	7672	7990	6334	8297	7814
MÉDIA	8932a*	8261a	7768a	7897a	6427b	8321ab	7934**ns

*Médias seguidas de mesma letra na mesma linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

**ns = diferenças não significativas.

Com exceção do tratamento P14 0N, as demais produtividades obtidas não foram significativamente diferentes. O efeito do pisoteio bovino na diminuição da produtividade de grãos de milho ficou bem evidenciado com este resultado, comprovando que o manejo incorreto da pastagem de inverno, através da utilização de uma frequência de pastoreio mais intensiva e sem adubação nitrogenada, pode levar a uma forte diminuição no rendimento da cultura.

O sistema de cultivo, em monocultura ou em rotação com a soja, não proporcionou diferenças significativas, havendo apenas uma produção de cerca de 240 kg ha⁻¹ a mais quando da utilização de rotação de culturas. Talvez em anos favoráveis, de altos rendimentos da cultura do milho, como no caso deste ano, neste experimento, essa diferença não tenha tanta importância ou signifique tanto. Porém, em anos de produção reduzida, devido a fatores diversos, essa diferença de aproximadamente 4 sacas por hectare pode representar muito na margem de lucro de uma lavoura e até mesmo de uma propriedade.

Bassani (1996) obteve rendimentos de grãos de milho, cultivado em sistema plantio direto sobre uma pastagem composta por aveia preta e azevém, de 5246 kg ha⁻¹ quando a pastagem foi submetida ao pastoreio e pisoteio contínuo de bovinos, e de 5636 kg ha⁻¹ quando a pastagem não foi pastejada, não havendo diferenças estatisticamente significativas. O autor ressalta que o rendimento de milho obtido nos dois sistemas de manejo da pastagem de inverno, com e sem pisoteio, revela que além dos benefícios e vantagens que proporciona, o sistema de plantio direto é capaz de manter ou até mesmo elevar os níveis de produtividade das culturas, principalmente em áreas submetidas ao pisoteio contínuo durante o inverno, no Estado do Rio Grande do Sul.

Após sete anos de utilização do sistema de integração lavoura-pecuária, com pastagens de aveia preta submetida ao pastoreio contínuo no inverno e utilização de rotação de culturas com soja, milho e feijão, Albuquerque et al. (2001) obtiveram rendimento de grãos de milho sob plantio direto de 6404 kg ha⁻¹, enquanto no preparo convencional do solo o rendimento obtido foi de 6957 kg ha⁻¹. Os autores atribuíram a menor produtividade em sistema plantio direto devido ao efeito do pisoteio bovino, que durante sete anos de pisoteio contínuo no inverno, causou um adensamento da camada superficial do solo, o que não é problema quando se realiza o revolvimento do mesmo para o plantio, como acontece no preparo convencional do solo.

Em geral a utilização de adubação nitrogenada na pastagem de inverno não contribuiu significativamente para a melhoria da produtividade de grãos de milho cultivado em seqüência, o que significa não haver necessidade de antecipação da adubação com nitrogênio para a cultura do milho, sob sistema de plantio direto.

Para a safra agrícola 2004/2005, do mesmo modo que ocorreu com a cultura da soja, a safra de milho foi severamente castigada pela estiagem. Várias lavouras, inclusive a da área experimental, tiveram perdas de até 100 % na produtividade, sendo que muitos produtores optaram em produzir silagem para alimentação animal, ou em certas ocasiões, não raras, as lavouras de milho foram utilizadas para o pastoreio direto pelos animais.

Segundo um levantamento da EMATER-RS, do mês de março de 2005, as perdas médias com a cultura do milho atingiam 55 %. Os técnicos explicaram que o restante das lavouras acumularam menores perdas porque foram plantadas até o início do mês de outubro de 2004, o que fez com que a estiagem não prejudicasse de forma tão severa a produtividade de grãos, que ficou conceituada de satisfatória, para uma safra atípica como foi.

5. CONCLUSÕES

- 1- A utilização de um pastoreio a cada 14 dias, com alta lotação animal e curto espaço de tempo, em uma pastagem de inverno composta por aveia preta e azevém, proporciona compactação da camada superficial do solo, evidenciada por modificações significativas na taxa de infiltração de água e na resistência à penetração.
- 2- O cultivo do milho em rotação de cultura com a soja ou em sistema de monocultivo, e o cultivo da soja em rotação de cultura com o milho ou em sistema de monocultivo, sob sistema plantio direto, não apresentaram diferenças significativas na produtividade de grãos, porém observa-se uma tendência do sistema com rotação de culturas, tanto para a soja quanto para o milho, a maiores produtividades, o que talvez pudesse ser melhor evidenciado após um longo prazo de utilização dos sistemas.
- 3- A adubação nitrogenada na dosagem de 200 kg N ha^{-1} aumentou a produção de forragem das pastagens de inverno, dada pela produção de matéria seca. O ganho de peso animal por hectare também foi maior com a utilização de nitrogênio na pastagem.
- 4- Entre as propriedades físicas avaliadas no presente trabalho, a microporosidade e o diâmetro médio geométrico de agregados foram as menos sensíveis em detectar a compactação do solo provocada pelo pisoteio bovino.
- 5- A cultura da soja, devido principalmente a características de seu sistema radicular, proporcionou maiores valores de macroporosidade e maior infiltração de água no solo. Os resultados de produtividade de grãos de soja e milho obtidos no verão, e os de ganho de peso bovino e produção de matéria seca das pastagens, no período de inverno, demonstram que a integração lavoura-pecuária sob plantio direto é uma excelente alternativa de geração de renda para as propriedades rurais do Estado do Rio Grande do Sul.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, S.L. et al. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo Franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:519-531, 2004.
- AITA, C. et al. Espécies de inverno como fonte de nitrogênio para o milho no sistema de cultivo mínimo e feijão em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 18:101-108, 1994.
- ALBUQUERQUE, J.A. et al. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 25: 717-723, 2001.
- ALBUQUERQUE, J.A. et al. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 19: 115-119, 1995.
- ALVES, M. & CABEDA, M. Infiltração de água em um Podzólico Vermelho-escuro sob dois métodos de preparo, usando chuva simulada com duas intensidades. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 23: 753-761, 1999.
- AMADO, T.J.C. et al. Potencial de Culturas de Cobertura em Acumular Carbono e Nitrogênio no Solo no Plantio Direto e a Melhoria da Qualidade Ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 25: 189-197, 2001.
- AMBROSI, I. et al. Lucratividade e risco de sistemas de produção de grãos combinados com pastagens de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 10, p. 1213-1219, out. 2001.
- ANJOS, J.T. et al. Propriedades físicas em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 18: 139-145, 1994.
- ARF, O. et al. Efeitos na cultura do trigo da rotação com milho e adubos verdes, na presença e na ausência de adubação nitrogenada. **Bragantia**, 58(2):323-334, 1999.
- ASSMANN, T. et al. Rendimento de milho em área de integração lavoura-pecuária sob o sistema plantio direto, em presença e ausência de trevo branco, pastejo e nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 27: 675-683, 2003.

ASSMANN, A. et al. Produção de gado de corte e acúmulo de matéria seca em sistema de integração lavoura-pecuária em presença e ausência de trevo branco e nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.1, p.37-44, 2004.

BASSANI, H. J. **Propriedades físicas do solo e produtividade de milho induzida pelo plantio direto e convencional em área pastejada e não pastejada**. 1996. 90p. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1996.

BASSO, C. & REINERT, D. Variação na agregação induzida por plantas de cobertura de solo no inverno e plantio direto de milho em um solo Podzólico. **Revista Ciência Rural**, v.28, n.4, p. 567-571, 1998.

BAVER, L.D. et al. **Física de solos**. [Soil physics] 1 ed. México: U.T.E.H.A, 1973. 529p.

BAYER, C. Potencial de práticas agrícolas em mitigar as emissões de gases de efeito estufa para atmosfera. In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 15., 2004, Santa Maria. **Palestras...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004. 1 CD ROOM.

BAYER, C. et al. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO₂. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 24: 599-607, 2000.

BRANDÃO, V. et al. **Infiltração da água no solo**. Viçosa: UFV, 2003. 98p.

BENATTI Jr, R. et al. Avaliação dos efeitos de sistemas de cultivo na produção de milho e nas propriedades edáficas em Latossolo Roxo no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 8:139-144, 1984.

BERTOL, I. et al. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:155-163, 2004.

BERTOL, I. et al. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem Capim Elefante Anão cv mott. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.35, n.5, p.1047-1054, 2000.

BERTOL, I. et al. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem numa pastagem natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, n.5, p.779-786, 1998.

BETTERIDGE, K. et al. & COSTALL, D.A. Effect of cattle and sheep treading on surface configuration of a sedimentary hill soil. **Australian Journal Soil Research**, 37:743-760, 1999.

BEUTLER, A. et al. Agregação de um Latossolo Vermelho distrófico típico relacionada com o manejo na região dos cerrados no Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25:129-136, 2001.

BORTOLINI, P. et al. Cereais de inverno submetidos ao corte no sistema de duplo propósito. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.1, p.45-50, 2004.

BRAGAGNOLO, N. & MIELNICZUK, J. Cobertura do solo por resíduos de oito seqüências de culturas e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 13:91-98,1990.

BRAIDA, J.A. et al. Relações entre a quantidade de palha existente sobre o solo e a densidade máxima obtida no ensaio Proctor. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 15. Santa Maria, 2004. **Anais**. Santa Maria, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004. CD-ROM.

BROERSMA, K. et al. Effects of grazing on soil compaction and water infiltration in forest plantations in the interior of British Columbia. In: **Proceedings**, From science to management and back: a science forum for southern interior ecosystems of British Columbia. p.89-92, 2000.

CAMPOS, B. **Dinâmica da agregação induzida pelo uso de plantas de cobertura de inverno e manejo do solo e culturas**. 1993, 92f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1993.

CAMPOS, B. et al. Estabilidade estrutural de um latossolo vermelho-escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 19:121-126,1995.

CANTO, M.W. et al. Produção animal em pastagens de aveia adubada com nitrogênio ou em mistura com ervilhaca. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 26, p. 396-402, 1997.

CARVALHO, M.A.C. et al. Soja em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional em solo de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.11, p.1141-1148, nov. 2004.

CASSOL, E. et al. Infiltração de água e perdas de água e solo por erosão influenciadas por diferentes métodos de melhoramento da pastagem nativa gaúcha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 23:923-931,1999.

CASSOL, L.C. **Relações solo-planta-animal num sistema de integração lavoura-pecuária em semeadura direta com calcário na superfície**. 2003, 143f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

CASTRO FILHO, C. et al. Aggregate stability under different soil management systems in a red latosol in the state of Paraná, Brazil. **Soil & Tillage Research** 65, 45-51.2002.

CATTELAN, A.J. et al. Sistemas de rotação de culturas em plantio direto e os microrganismos do solo, na cultura da soja, em Londrina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 21:293-301, 1997.

CATTELAN, A.J. & VIDOR, C. **Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo, em função de variações ambientais.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 14:133-142, 1990.

CENTURION, J.F. & DEMATTE, J.L.I. Efeito de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um solo sob cerrado cultivado com soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 9:263-266, 1985.

CINTRA, F.; MIELNICZUK, J. & SCOPEL, I. Caracterização do impedimento mecânico em um Latossolo roxo do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 7:323-327, 1983.

CINTRA, F. & MIELNICZUK, J. Potencial de algumas espécies vegetais para a recuperação de solos com propriedades físicas degradadas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 7:197-201, 1983.

CIVIDANES, F. J. Efeitos do sistema de plantio e da consorciação soja-milho sobre artrópodes capturados no solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. v. 37, n. 1, p. 15-23, jan. 2002.

CIVIDANES, F. J. & BARBOSA. Efeitos do plantio direto e da consorciação soja-milho sobre inimigos naturais e pragas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. v. 36, n. 2, p. 235-241, fev. 2001.

CLARK, J.T. et al. Soil Surface Property and Soybean Yield Response to Corn Stover Grazing. *Agronomy Journal*. 96:1364-1371, 2004.

COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE AVEIA. **Recomendações técnicas para a cultura da aveia.** Depto. Plantas de Lavoura (UFRGS), Depto. Fitotecnia (UFPEL), Porto Alegre - RS, 2000. 69p.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – CFSRS/SC. **Recomendação de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina.** 3. ed. Passo Fundo, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Sul, 1995. 224p.

CONAB. Safras. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/download/safra/SojaSerieHist.xls>>. Acesso em 26 de fevereiro de 2005a.

CONAB. Indicadores Agropecuários. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/download/safra/CustoInverno-Out-2004.pdf>>. Acesso em 15 de janeiro de 2005b.

CORREA, J.C. & REICHARDT, K. Efeito do tempo de uso das pastagens sobre as propriedades de um latossolo amarelo da Amazônia Central. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.30, n.1, p.107-114, 1995.

COSENTINO, D. et al. Relationships between organic carbon fraction and physical properties of an argentine soil under three tillage systems. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.33, n.6, p. 981-986, jun. 1998.

COSTA, A. et al. Estabilidade dos agregados e carbono orgânico total do solo sob diferentes manejos na integração lavoura-pecuária. In: REUNIÃO SUL BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 5., 2004. Florianópolis. **Resumos Expandidos...** Florianópolis: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004. 1 CD ROOM.

COSTA, F. et al. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:527-535, 2003.

CUBILLA, M. et al. Plantas de cobertura do solo: uma alternativa para aliviar a compactação em Sistema Plantio Direto. **Revista Plantio Direto**, p.29-32, set-out. 2002.

D'ANDRÉA, A.F. et al. Atributos de agregação indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região dos cerrados no sul do Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26:1047-1054, 2002.

DA ROS, C. et al. Influencia do pastoreio do gado na densidade do solo no sistema plantio direto. In: Reunião Sul Brasileira de Ciência do Solo, I, 1996, Lages – SC. **Resumos Expandidos**. Lages: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 1996. P. 150-152.

DA ROS, C. et al. Manejo de solo a partir de campo nativo: efeito sobre a forma e estabilidade da estrutura ao final de cinco anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 21:241-247, 1997.

DE JONG VAN LIER, Q. Oxigenação do sistema radicular: uma abordagem física. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25:233-238, 2001.

DENTI, E.A. & REIS, E.M. Efeito da rotação de culturas, da monocultura e da densidade de plantas na incidência das podridões da base do colmo e no rendimento de grãos do milho. **Fitopatologia brasileira**, 26(3), setembro 2001.

DERPSCH, R. Agricultura Conservacionista no Mundo. In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 15., 2004, Santa Maria. **Palestras...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004. 1 CD ROOM.

DERPSCH, R. et al. Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 20:761-773. 1985.

DERPSCH, R. et al. **Controle da erosão no Paraná, Brasil**: Sistema de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. GTZ-IAPAR, Londrina, 272p.1991.

DUFRANC, G. et al. Atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a estabilidade de agregados de dois latossolos em plantio direto no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:505-517, 2004.

ELTZ, F.L.F. et al. Perdas de solo e água por erosão em diferentes sistemas de manejo e coberturas vegetais em solo Laterítico Bruno-Avermelhado distrófico (São Jerônimo) sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 8:117-125, 1984.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, 1999. 412p.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997, 212p.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. (Rio de Janeiro, RJ), Rio de Janeiro; SNLCS, 1979.

ENTZ, M. et al. Potential of forages to diversify cropping systems in the northern great plains. **Agronomy Journal** 94:240-250, 2002.

FEBRAPDP – FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA. Evolução da Área de Plantio Direto no Brasil 1972/2001. Disponível em: <http://www.febrapdp.org.br/pd_area_br.htm>. Acesso em 15 de novembro de 2004.

ESPÍNOLA, F.C.S. **Comparação de métodos de infiltração de água no solo**. 1977, 88p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Rural). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Rural, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1977.

FARIA, J.C. et al. Effects of weed control on physical and micropedological properties os a brazilian ultisol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 22: 731–741. 1998.

FARIAS, G. et al. Efeito de sistemas de cultivo sobre a porosidade e retenção de água em um solo laterítico bruno-avermelhado distrófico (Paleudult). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 20: 1389-1393. 1985.

FIORIN, J. Manejo de cobertura do solo e rotação de culturas para altas produtividades. In: CARLESSO, R.; PETRY, M.; ROSA, G. & CERETTA, C. **Irrigação por aspersão no Rio Grande do Sul**. Santa Maria, 2001. p.147-155.

FLORES, J.P.C. **Atributos de solo e rendimento de soja em um sistema de integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo em plantio direto com aplicação de calcário em superfície**. 2004, 74f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

FLOSS, E.L. Manejo forrageiro de aveia e azevém. In: Simpósio sobre manejo de pastagem, 9, 1988, Piracicaba. **Anais...**Piracicaba: FEALQ, 1988. p. 231-268.

FOLONI, J. et al. Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 38. n.8, p. 947-953, 2003.

FONTANELLI, R.S. et al. Efeito de pastagens de aveia preta e de aveia preta + ervilhaca sobre o ganho de peso animal. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 1999. 4p.html. (Embrapa Trigo. Comunicado Técnico Online, 33). Disponível em: http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p_co33.htm

FONTANELI, R.S. & PIOVESAN, A.J. **Efeito de cortes no rendimento de forragem e grãos de aveia**, Passo Fundo, RS, 1988. Boletim de Pesquisa, Passo Fundo, Ano VIII, n.10, p.62-69, 1990.

FONTANELI, R.S. et al. **Sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno, sob plantio direto**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. 84p. (Embrapa Trigo. Circular Técnica 6) 200.

FORSYTHE, W. **Física de Suelos**, Manual de Laboratório. San José: Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1975. 212p.

FUNDACEP FECOTRIGO. **A soja em rotação de culturas em plantio direto**. Coord. Silva M.T.B. da. Cruz Alta: FUNDACEP FECOTRIGO, 1998, 234p.

GARCÍA-PRÉCHAC, F. et al. Integrating no-till into crop-pasture rotations in Uruguay. **Soil & Tillage Research** 77 (2004) 1-13.

GENRO JÚNIOR, S. A. **Alteração da compactação do solo com uso de rotação de culturas no sistema plantio direto**. Santa Maria: UFSM, 2002. 90p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Departamento de Solos, Universidade Federal de Santa Maria, 2002.

GIACOMINI, S.J. et al. Matéria Seca, Relação C/N e Acúmulo de Nitrogênio, Fósforo e Potássio em Misturas de Plantas de Cobertura de Solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 27: 325 – 334. 2003.

GOEDERT, W. et al. Estado de compactação em áreas cultivadas no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 37. n.2, p. 223-227, 2002.

GOMES, J.F. & REIS J.C.L. Produção de forrageiras anuais de estação fria no litoral sul do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Zootecnia**., v.28, n.4, p.668-674, 1999.

GRISE, M. et al. Avaliação do desempenho animal e do pasto na mistura aveia IAPAR 61 (*Avena strigosa* Schreb) e ervilha forrageira (*Pisum arvense* L.) manejada em diferentes alturas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 834-839, 2002.(suplemento).

HILLEL, D. **Environmental Soil Physics**. San Diego, Academic Press, 1998. 770p.

HODGSON, A.S. & MACLEOD, D.A. Use of oxygen flux density to estimate critical air-filled porosity of a vertisol. *Soil Science Society of American Journal*, 53: 355-361, 1989.

HOFFMANN, L. et al. Efeitos da rotação de cultura, de cultivares e da aplicação de fungicida sobre o rendimento de grãos e doenças foliares em soja. **Fitopatologia brasileira**, v. 29, n.3, mai-jun 2004.

- IBGE. Levantamento Sistemático Produção Agrícola. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa04200404.shtm>>. Acesso em: 20 de fevereiro de 2005.
- IMHOFF, S. et al. Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35. n.7, p. 1493-1500, 2000.
- JORGE, J.A. **Física e manejo dos solos tropicais**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1986. 328p.
- JUNIOR, A; BACKES, R. & TORRES, A. Desempenho de plantas invernais na produção de massa e cobertura do solo sob cultivos isolado e em consórcios. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, n. 2, 2003.
- KEMPER, W. D. & CHEPIL, W. S. **Size distribution of aggregates**. In: BLACK, C. A. Methods of soil analysis. Part 1. Madison. 1965. p.499-509.
- KEMPER, B. & DERPSCH, R. Soil compaction and root growth in Paraná. In: Symposium on the soil/root system, 1981, Londrina. Proceedings... Londrina, IAPAR, 1981, p.81-102.
- KLEIN, V.A. & LIBARDI, P.L. Faixa de umidade menos limitante ao desenvolvimento vegetal e sua relação com a densidade do solo ao longo do perfil de um Latossolo roxo. **Revista Ciência Rural**, v.30, n.6, p.959-964, 2000.
- KLEIN, V.A. & LIBARDI, P.L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 26: 857 – 867. 2002.
- LANGE, A. **Palhada e nitrogênio afetando propriedades do solo e rendimento de milho em sistema plantio direto no cerrado**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2002. 148p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Lavras, 2002.
- LEÃO, T.P. et al. Intervalo Hídrico Ótimo na avaliação de sistemas de pastejo contínuo e rotacionado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:415-423, 2004.
- LENZI, A. **Desempenho animal e produção de forragem em dois sistemas de uso da pastagem: Pastejo Contínuo & Pastoreio Racional Voisin**. Florianópolis: UFSC, 2003. 122 p. Dissertação. (Mestrado em Agroecossistemas) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.
- LEONARDO, H.C.L. **Indicadores da qualidade do solo e água para a avaliação do uso sustentável da microbacia hidrográfica do rio Passo Cue, região oeste do Estado do Paraná**. Piracicaba: ESALQ, 2003. 121p. Dissertação. (Mestrado em Recursos Florestais). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2003.
- LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Advances in Soil Science**, v. 1, p. 277-294, 1985.

LEVIEN, R. et al. Erosão na cultura do milho em diferentes sistemas de cultivo anterior e métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 14:73-80, 1990.

LIMA, C. et al. Estabilidade de agregados de um planossolo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:199-205, 2003.

LIPIEC, J. & HATANO, R. Quantification of compaction effects on soil physical properties and crop growth. **Geoderma**, 116, p. 107-136. 2003.

LOGSDON, S. & KARLEN, D. Bulk density as a soil quality indicator during conversion to no-tillage. **Soil & Tillage Research**, 78 (2004), 143-149.

LOVATO, T. et al. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:175-187, 2004.

LUPATINI, G.C. & MARTINICHEN, D. Exploração econômica de pastagens de inverno. In: **Confinamento, pastagens e suplementação para produção de bovinos de corte**. Editor: João Restle. Santa Maria, RS. 258p. 1998.

MACHADO, J. & BRUM, A. Efeito de sistemas de cultivo em algumas propriedades físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 02:81-84, 1978.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Estimativas de Safras. Disponível em: http://www.agricultura.gov.br/pls/portal/docs/PAGE/MAPA/ESTATISTICAS/AGRICULTURA_EM_NUMEROS_2003/3.1.02.O.XLS>. Acesso em 20 de fevereiro de 2005.

MARTINS, C. et al. Efeito de doses crescentes de P₂O₅ sobre a produção e qualidade de forragem da mistura aveia/azevém. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 33, Fortaleza, 1996. **Anais...** Fortaleza: SBZ, 1996, v.2, p.186-189.

MARCHEZAN, E. et al. Produção animal em várzea sistematizada cultivada com forrageiras de estação fria submetidas a diferentes níveis de adubação. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v.32, n.2, p.303-308, 2002.

MELLO, E.; BERTOL, I.; ZAPAROLLI, A. & CARRAFA, M. Perdas de solo e água em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico submetido à chuva simulada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:901-909, 2003.

MELLO, J.S. **Integração lavoura-pecuária em sistema plantio direto**. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT/ Projeto METAS, 1998. 36p. (Projeto METAS.Boletim Técnico, 3).

MELLO, L.M.M. Integração lavoura-pecuária em sistema plantio direto. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Palestras...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. 1 CD ROOM.

MELO FILHO, J.F. & SILVA, J.R.C. Erosão, teor de água no solo e produtividade do milho em plantio direto e preparo convencional de um podzólico vermelho-amarelo no Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 17:291-297, 1993.

POSTIGLIONI, S.R. Avaliação sob pastejo da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, *Setaria anceps* cv. Kazungula e *Cynodon dactylon* cv. Coastercross-1 na região dos Campos Gerais do Paraná. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 33, Fortaleza, 1996. **Anais...** Fortaleza: SBZ, 1996, v.2, p.41-43.

POTT, C. & DE MARIA, I. Comparação de métodos de campo para a determinação da velocidade de infiltração básica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:19-27, 2003.

PROHMANN, P. et al. Suplementação de bovinos em pastagem de *Coastercross* (*Cynodon dactylon* (L.) Pers) no inverno. **Revista Brasileira de Zootecnia**. V. 33, n. 4, p. 801-810, 2004.

QUADROS, F.L.F. de. & MARASCHIN, G.E. Desempenho animal em misturas de espécies forrageiras de estação fria. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 22. p. 535-541, 1987.

REINERT, D.J. & REICHERT, J.M. Propriedades físicas de solos em sistema plantio direto irrigado. In: CARLESSO, R.; PETRY, M.; ROSA, G. & CERETTA, C. **Irrigação por aspersão no Rio Grande do Sul**. Santa Maria, 2001. p.114-131.

RESTLE, J. et al. Eficiência e desempenho de categoriais de bovinos de corte em pastagem cultivada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.27, n.2, p.397-404, 1998

RESTLE, J. et al. Produção animal e retorno econômico em misturas de gramíneas de anuais de estação fria. **Revista Brasileira de Zootecnia**. V. 28, n. 2, p. 235-243, 1999.

RESTLE, J. et al. Suplementação energética para vacas de descarte de diferentes idades em terminação em pastagem cultivada de estação fira sob pastejo horário. **Revista Brasileira de Zootecnia**. V. 29, n. 4, p. 1216-1222, 2000.

RIQUELME, U.F.B. Propriedades físicas e hídricas do solo em sistemas de manejo do feijoeiro. 2004. 78f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS. 2004.

ROCHA, M. et al. Alternativas de utilização da pastagem hibernal para recria de bezerras de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 383-392, 2003.

ROSO, C. **Produção animal em misturas de gramíneas anuais de estação fria**. Santa Maria: UFSM, 1998. 104p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Santa Maria, 1998.

ROSO, C. et al. Aveia preta, triticale e centeio em mistura com azevém. 1. Dinâmica, produção e qualidade de forragem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, n.1, p.75-84, 2000.

ROSOLEM, C.A. et al. Sistema radicular e nutrição do milho em função da calagem e compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 18:491-497,1994.

RUBIN, R.B. et al. Resistência do solo influenciada pelo tráfego e sistemas de cultivos. In: Reunião Sul-Brasileira de Ciência do Solo, 2., 4 a 6 de Novembro de 1998, **Anais...**, Santa Maria – RS.

SALTON, J.C. et al. **Sistema Plantio Direto**. O produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília: Embrapa-SPI; Dourados; Embrapa-CPAO, 1998.248p.

SALTON, J. et al. Pastoreio da aveia e compactação do solo. **Revista Plantio Direto**, n.69, maio/junho de 2002, Aldeia Norte Editora, Passo Fundo, 40 p.

SANTOS, H.P. dos & REIS, E.M. **Rotação de Culturas em Plantio Direto**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001. 212p.

SANTOS, H.P. & SIQUEIRA, O. Plantio direto e rotação de culturas para cevada: efeitos sobre a fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 19:449-454,1995.

SANTOS, H. & TOMM, G. Rotação de culturas para a cevada, após dez anos: efeitos na fertilidade do solo. **Revista Ciência Rural**, v.28, n.4, p. 573-580, 1998.

SANTOS, H.P. et al. Plantio direto versus convencional: efeito na fertilidade do solo e no rendimento de grãos de culturas em rotação com cevada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 20:163-169,1996.

SANTOS, H.P. et al. **Efeito da rotação de culturas no rendimento de grãos e na ocorrência de doenças radiculares de trigo e de outras culturas de inverno e de verão, de 1979 a 1986**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 1987. 38p.

SCAPINI, C.A. et al. Medição da densidade e porosidades do solo pelo método do cilindro e torrão parafinado em sistemas de preparo do solo e pastejo animal. II Reunião Sul Brasileira de Ciência do Solo, 4 a 6 de Novembro de 1998, **Anais...**, Santa Maria – RS.

SCHAEFER, C.E. et al. Características da porosidade de um argissolo vermelho-amarelo submetido a diferentes sistemas de preparo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 25: 765-769, 2001.

SCHNEIDER, P.R. et al. Influencia do pisoteio de bovinos em áreas florestais. **Revista Floresta**, vol. 19, n. 1, p.19-23, 1978.

SIDIRAS, N. et al. Influência de diferentes sistemas de preparo do solo na variação da umidade e rendimento da soja, em latossolo roxo distrófico (Oxisol). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 7:103-106, 1983.

SIDIRAS, N. & PAVAN, M.A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 10:181-184, 1986.

SIDIRAS, N. & PAVAN, M.A. Influência do sistema de manejo na temperatura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 9:249-254, 1985.

SILVA, C. & KATO, E. Efeito do selamento superficial na condutividade hidráulica saturada da superfície de um solo sob cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.32, n.2, p. 213-220, 1997.

SILVA, I. & MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 21:313-319, 1997.

SILVA, A. et al. Recria de terneiros de corte em pastagem de estação fria sob níveis de biomassa de folhas verdes: economicidade e eficiência alimentar. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.6, p.1903-1907, nov-dez, 2004.

SILVA, A.P. et al. Characterization of the least limiting water range. *Soil Science Society of American Journal*, 58: 1775-1781, 1994.

SILVA, V.R. et al. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24:191-199, 2000.

SILVA, R.H. & ROSOLEM, C.A. Crescimento radicular de espécies utilizadas como cobertura decorrente da compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25:253-260, 2001.

SIQUEIRA, O.J.F. & DENARDIN J.E. Equipamento para medir a taxa de infiltração de água no solo utilizando anéis concêntricos em um sistema com nível de água constante. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 9:73-75, 1985.

SOBRINHO, T. et al. Infiltração de água no solo em sistemas de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. V. 7, n. 2, p. 191-196, 2003.

SOLLENBERGER, L.E. & CHAMBLISS, C.G. **Grazing management of improved pastures**. In: 38th Annual Florida Beef Cattle Short Course Proceedings; 1989 May 35; Gainesville, FL. University of Florida (Gainesville): Animal Science Department.65p.

SOUZA, W. & MELO, W. Matéria orgânica em um Latossolo submetido a diferentes sistemas de produção de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:1113-1122, 2003.

SOUZA, R.O. et al. Sistemas de cultivos de arroz irrigado no Rio Grande do Sul. In: Conferência Internacional de Arroz Irrigado para a América Latina e para o Caribe, e Reunião Nacional de Pesquisa de Arroz, 1994, Goiânia – GO. **Anais**. Goiânia: EMBRAPA/CNPAP, 1994. v.1. p. 151-168.

SPERA, S. et al. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:533-542, 2004.

STONE, L. & SILVEIRA, P. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25: 395-401, 2001.

TANNER, C. & MAMARIL, C. Pasture soil compaction by animal traffic. **Agronomy Journal**, Madison, v. 51, n.6, p.329-331, 1959.

TAVARES FILHO, J. et al. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho sob diferentes sistemas de manejo em um latossolo roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25: 725-730, 2001.

TAYLOR, H.M. & BURNETT, E. Influence of soil on the root growth habitat of plants. **Soil Science**, 98 : 174-180, 1964.

TAYLOR, H.M. et al. Soil strength root penetration relations for medium to coarse textured soil materials. **Soil Science**, Baltimore, v.102, p.18-22, 1966.

TORRES, E. & SARAIVA, O. **Camadas de impedimento do solo em sistemas agrícolas com a soja**. Londrina: Embrapa Soja, 1999. 58p.

TISDALL, J.M. Fungal hyphae and structural stability of soil. *Australian Journal of Soil Research*, v. 29, n. 6, p. 729-743. 1991.

TREIN, C.R. et al. 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**, 15:105-111, 1991.

UHDE, L. et al. Comportamento da sucessão trevo/milho, em área com e sem pastejo intensivo, sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 20: 493-501, 1996.

VENZKE FILHO, S. **Biomassa microbiana do solo sob sistema de plantio direto na região de campos gerais, Tibagi, PR**. Piracicaba, Universidade de São Paulo, 2003. 99p. (Tese de Doutorado).

VENZKE FILHO, S. et al. Root systems and microbial biomass under no-tillage system. **Scientia Agricola**, v.61, n.5, p.529-537, 2004.

VILELA, L. et al. **Benefícios da Integração entre Lavoura e Pecuária**. Documentos. EMBRAPA CERRADOS, n. 42, 2001.

VIZZOTTO, V.R. et al. Efeito do pisoteio bovino em algumas propriedades físicas do solo de várzea. **Revista Ciência Rural**. v.30, n. 6, p. 965-969, 2000.

VOISIN, A. **Produtividade do Pasto**. São Paulo: Mestre Jou, 520p., 1974.

WILLIAM, S. & WEIL, R. Crop cover root channels may alleviate soil compaction effects on soybean crop. **Soil Science Society of American Journal**. 68:1403-1409, 2004.

WOHLENBERG, E. et al. Dinâmica da agregação de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28: 891-900, 2004.

TANNER, C. & MAMARIL, C. Pasture soil compaction by animal traffic. **Agronomy Journal**, Madison, v. 51, n.6, p.329-331, 1959.

TAVARES FILHO, J. et al. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho sob diferentes sistemas de manejo em um latossolo roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25: 725-730, 2001.

TAYLOR, H.M. & BURNETT, E. Influence of soil on the root growth habitat of plants. **Soil Science**, 98 : 174-180, 1964.

TAYLOR, H.M. et al. Soil strength root penetration relations for medium to coarse textured soil materials. **Soil Science**, Baltimore, v.102, p.18-22, 1966.

TORRES, E. & SARAIVA, O. **Camadas de impedimento do solo em sistemas agrícolas com a soja**. Londrina: Embrapa Soja, 1999. 58p.

TISDALL, J.M. Fungal hyphae and structural stability of soil. *Australian Journal of Soil Research*, v. 29, n. 6, p. 729-743. 1991.

TREIN, C.R. et al. 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**, 15:105-111, 1991.

UHDE, L. et al. Comportamento da sucessão trevo/milho, em área com e sem pastejo intensivo, sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 20: 493-501, 1996.

VENZKE FILHO, S. **Biomassa microbiana do solo sob sistema de plantio direto na região de campos gerais, Tibagi, PR**. Piracicaba, Universidade de São Paulo, 2003. 99p. (Tese de Doutorado).

VENZKE FILHO, S. et al. Root systems and microbial biomass under no-tillage system. **Scientia Agricola**, v.61, n.5, p.529-537, 2004.

VILELA, L. et al. **Benefícios da Integração entre Lavoura e Pecuária**. Documentos. EMBRAPA CERRADOS, n. 42, 2001.

VIZZOTTO, V.R. et al. Efeito do pisoteio bovino em algumas propriedades físicas do solo de várzea. **Revista Ciência Rural**. v.30, n. 6, p. 965-969, 2000.

VOISIN, A. **Produtividade do Pasto**. São Paulo: Mestre Jou, 520p., 1974.

WILLIAM, S. & WEIL, R. Crop cover root channels may alleviate soil compaction effects on soybean crop. **Soil Science Society of American Journal**. 68:1403-1409, 2004.

WOHLENBERG, E. et al. Dinâmica da agregação de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28: 891-900, 2004.

7. APÊNDICES



APÊNDICE A- Vista panorâmica da área experimental e do campo nativo característico da região. Agropecuária Capitão Rodrigo, Jari – RS.



APÊNDICE B- Detalhe da operação de semeadura direta da pastagem de inverno (a) e bovinos das raças Aberdeen Angus e Red Angus utilizados na realização dos pastoreios, nos invernos de 2003 e 2004 (b). Agropecuária Capitão Rodrigo, Jari – RS.



APÊNDICE C- Área submetida ao pastoreio a cada 28 dias, à direita, e sem pastoreio, à esquerda (a), e área pastejada a cada 14 dias (b), no inverno de 2004. Agropecuária Capitão Rodrigo, Jari – RS.



APÊNDICE D- Detalhe das culturas de soja e milho, implantadas após o período de pastoreio de inverno, na área experimental (a) e momento da introdução de um anel volumétrico no solo, antes da implantação da pastagem de inverno, em 2003 (b). Agropecuária Capitão Rodrigo, Jari – RS.

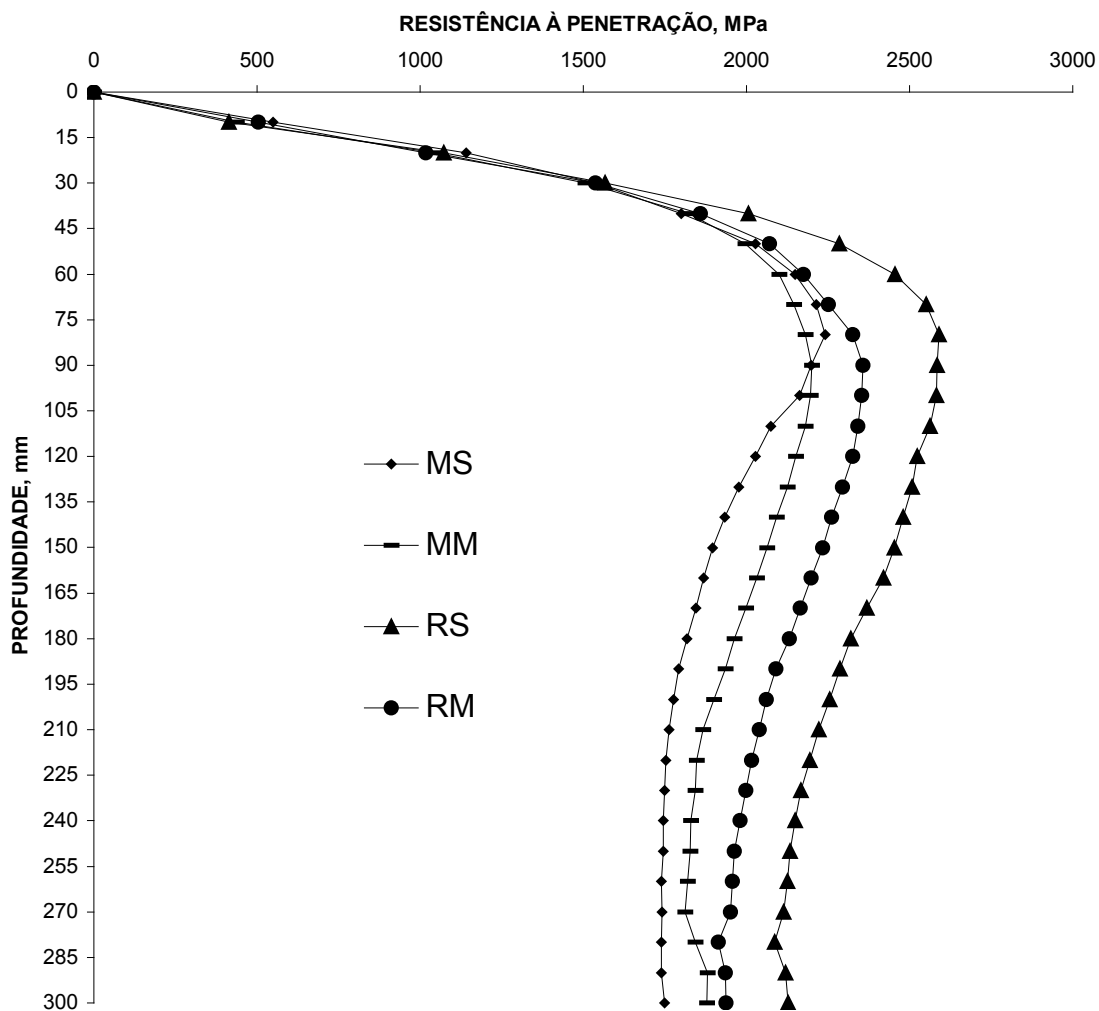


APÊNDICE E- Detalhe da “mesa de tensão” utilizada para a determinação da porosidade do solo (a) e infiltrômetros instalados nas parcelas do experimento (b) para a avaliação da infiltração de água no solo. Agropecuária Capitão Rodrigo, Jari – RS.

APÊNDICE F- Percentagem de agregados em cinco classes de diâmetro, em duas profundidades, em áreas de pastagem de inverno submetidas a duas doses de adubação nitrogenada: 0N= 0,0 kg N ha⁻¹ e 200N= 200 kg N ha⁻¹. Jari – RS, outubro de 2004.

Frequência de Pastoreio	Profundidade	CLASSE DE TAMANHO DE AGREGADOS				
		8,0-4,76	4,76-2,0	2,0-1,0	1,0-0,21	<0,21
	cm%				
0N	0-5	84,51a*	8,25a	1,01a	1,16a	3,43a
	5-10	75,56a	11,28a	3,65a	3,60a	2,43a
200N	0-5	85,60a	9,65a	1,12a	1,26a	3,95a
	5-10	79,02a	11,36a	4,89b	4,47a	2,68a

*Médias seguidas por mesma letra, na mesma coluna e profundidade, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.



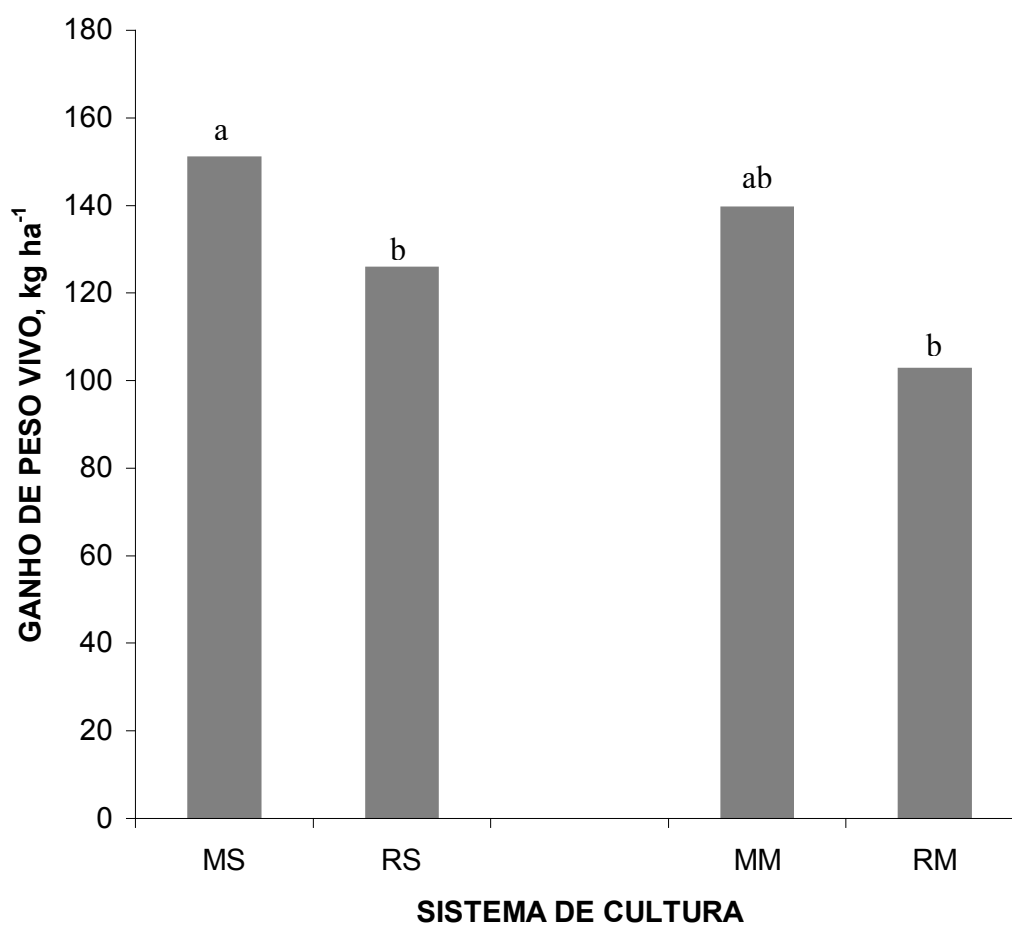
APÊNDICE G- Resistência do solo à penetração em áreas submetidas a diferentes sistemas de culturas de verão: MS= soja em monocultivo; RS= soja em rotação de cultura com milho; MM= milho em monocultivo; RM= milho em rotação de cultura com soja. Agropecuária Capitão Rodrigo, Jari – RS.

APÊNDICE H- Produção de matéria seca remanescente de uma pastagem de inverno composta por aveia preta e azevém, instalada em área anteriormente submetida ao monocultivo de soja (MS) ou à rotação da soja com a cultura do milho (RS) e três frequências de pastoreio (SP= Sem pastoreio; P28= Pastoreio a cada 28 dias e P14= Pastoreio a cada 14 dias). Agropecuária Capitão Rodrigo, Jari - RS. Outubro de 2003.

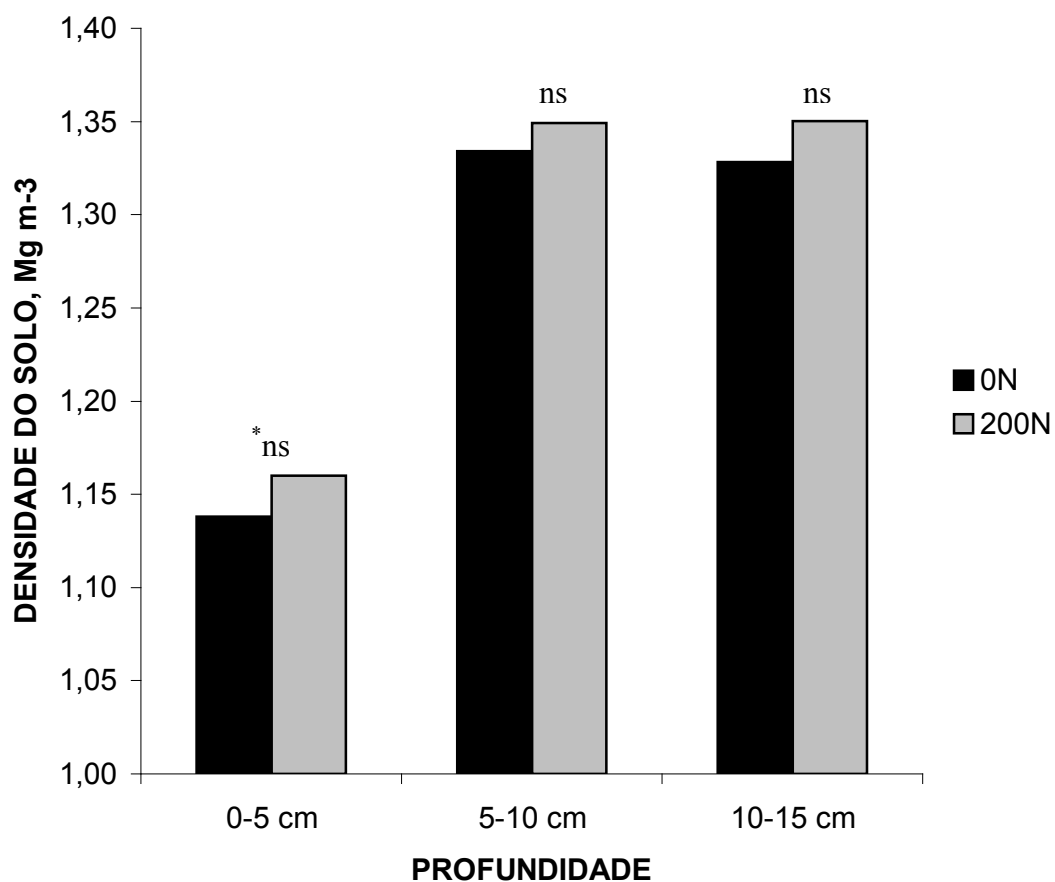
Sistema de Cultivo	Sistema de Pastoreio		
	Sem pastoreio	Pastoreio 28 dias	Pastoreio 14 dias
Kg ha ⁻¹			
MS	9455 a*	5013 a	3510 a
RS	7848 b	4527 a	3807 a
Média	8651 A**	4770 B	3658 C

* Médias seguidas pela mesma letra minúscula em cada coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %

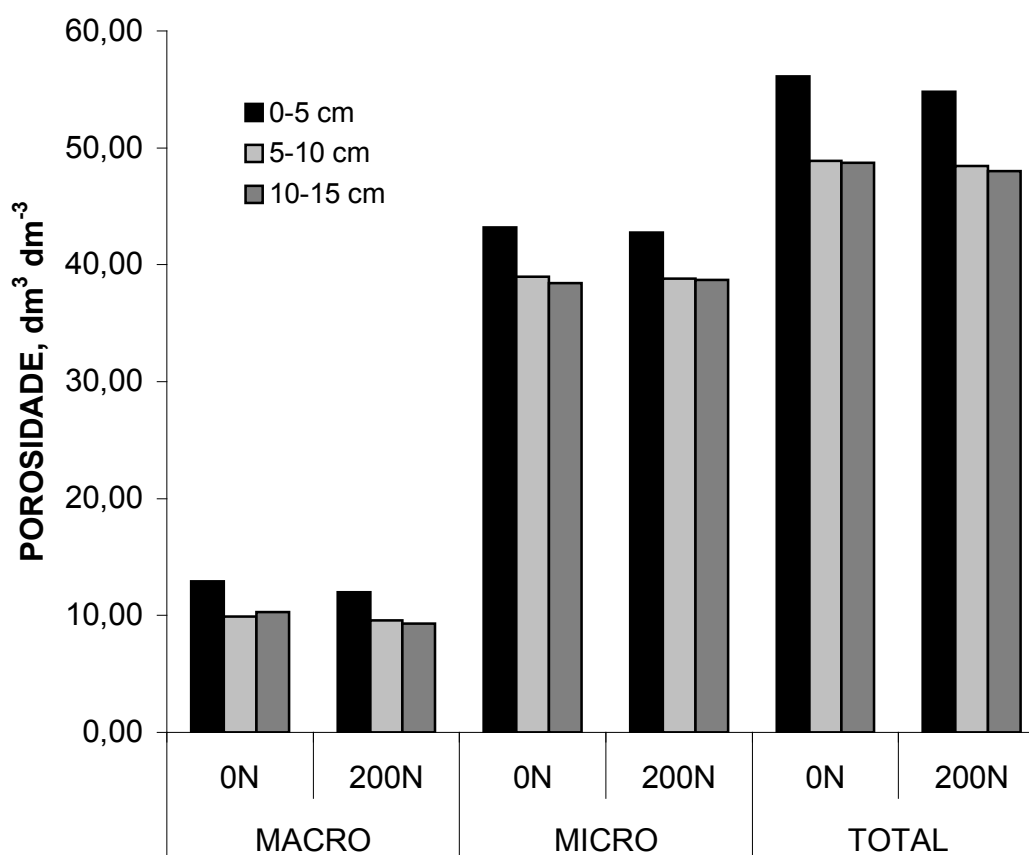
** Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na mesma linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %



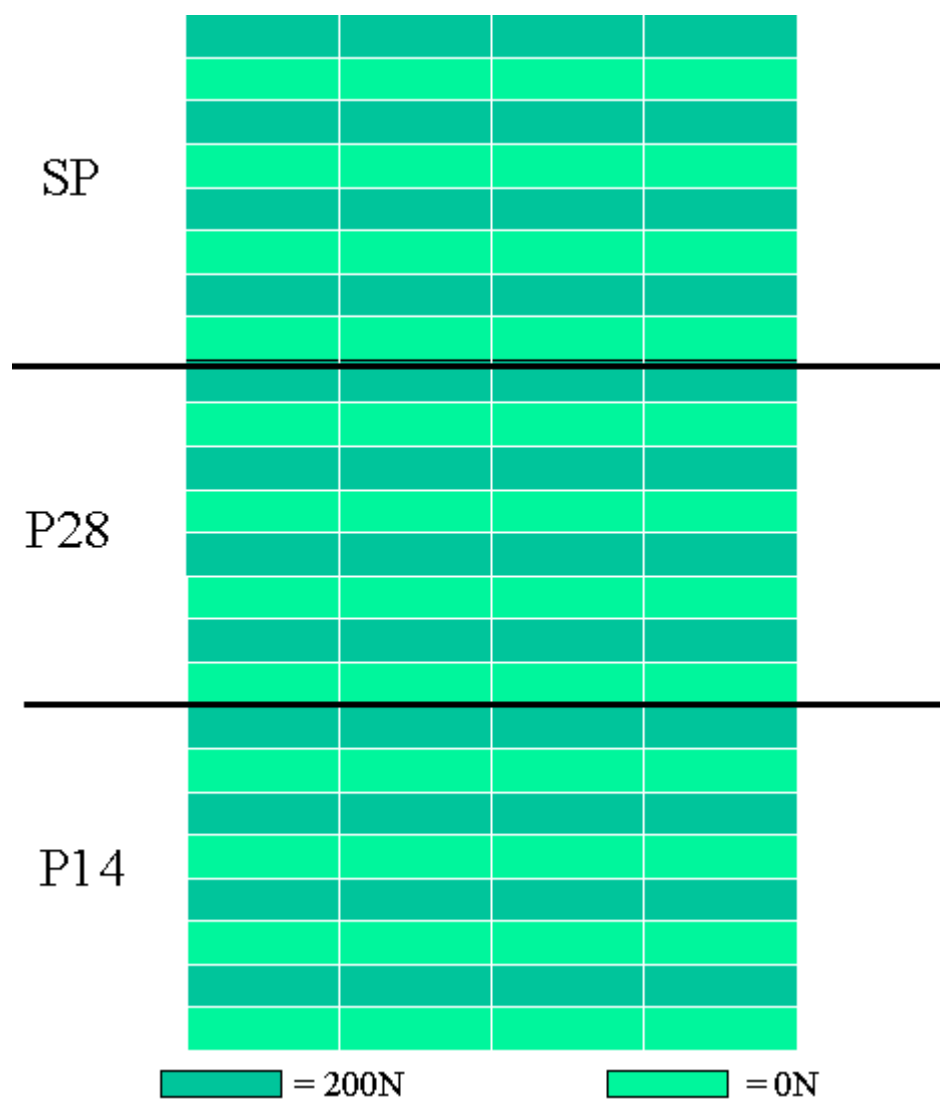
APÊNDICE I- Ganho de peso vivo, em pastagem anteriormente submetida a diferentes sistemas de cultura de verão: MS= Soja em Monocultivo; RS= Soja em Rotação de cultura com milho; MM= Milho em Monocultivo; RM= Milho em Rotação de cultura com soja. Agropecuária Capitão Rodrigo, Jari – RS. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.



APÊNDICE J - Densidade do solo em áreas de pastagem de inverno submetidas a duas doses de adubação nitrogenada: 0N= 0 kg N ha⁻¹ e 200N= 200 kg N ha⁻¹. Agropecuária Capitão Rodrigo, Jari – RS. Outubro de 2004. *ns = diferenças não significativas pelo teste de Tukey a 5 %.



APÊNDICE K - Macro, micro e porosidade total do solo, em área de pastagem de inverno submetida a duas doses de adubação nitrogenada: 0N= 0 kg N ha⁻¹ e 200N= 200 kg N ha⁻¹. Agropecuária Capitão Rodrigo, Jari – RS. Outubro de 2004.



APÊNDICE L - Croqui esquemático da área experimental, para os invernos de 2003 e 2004.

APÊNDICE M – Taxa de acúmulo diário de matéria seca (Kg MS ha dia⁻¹) de uma pastagem de inverno composta por aveia preta + azevém, pastoreada a cada 28 dias e submetida a duas doses de adubação nitrogenada (0N = 0 Kg N ha⁻¹ e 200N = 200 Kg N ha⁻¹). Jari, RS. Inverno de 2003.

Dose N	Sist. Cult.	Período			Média
		0 – 62 DAE	63 – 90 DAE	91 – 118 DAE	
0N	MS	17,58	42,13	36,81	32,17
	RS	17,12	55,61	42,98	38,57
	MM	20,27	66,37	46,65	44,43
	RM	15,58	59,61	42,16	39,12
	Média	17,64	55,93	42,15	38,57
200N	MS	24,73	51,16	70,03	48,64
	RS	22,81	70,57	39,01	44,13
	MM	30,45	80,48	55,48	55,47
	RM	20,38	76,83	63,67	53,63
	Média	24,59	69,76	57,05	50,47