

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV
PROGRAMA DE MESTRADO EM AGRONOMIA
MESTRADO EM CIÊNCIA DO SOLO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

TÍTULO:

**ATRIBUTOS FÍSICOS E HÍDRICOS DO SOLO E PRODUTIVIDADE
DA SOJA EM SISTEMA INTEGRADO LAVOURA-PECUÁRIA, EM
NITOSOLO HÁPLICO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO**

AUTOR:

OLMAR NEUWALD

Lages (SC), Agosto de 2005

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIA AGROVETERINÁRIAS
DEPARTAMENTO DE SOLOS
PROGRAMA DE MESTRADO EM AGRONOMIA
CURSO DE MESTRADO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**ATRIBUTOS FÍSICOS E HÍDRICOS DO SOLO E PRODUTIVIDADE DA SOJA EM
SISTEMA INTEGRADO LAVOURA-PECUÁRIA, EM NITOSSOLO
HÁPLICO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO.**

**OLMAR NEUWALD
Engenheiro Agrônomo**

**Orientador: ÁLVARO LUIZ MAFRA
Professor Doutor**

**Dissertação apresentada à Universidade do
Estado de Santa Catarina, Centro de Ciência
Agroveterinárias, como um dos requisitos à
obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo**

**LAGES
Estado de Santa Catarina, Brasil
Agosto, 2005**

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária
Renata Weingärtner Rosa – CRB 228/14ª Região
(Biblioteca Setorial do CAV/UDESC)

Neuwald, Olmar
Atributos físicos e hídricos do solo e
produtividade da soja em sistema integrado lavoura-
pecuária em Nitossolo Háplico sob diferentes sistemas de
manejo. / Olmar Neuwald – Lages, 2005.
91p.

Dissertação (mestrado) – Centro de Ciências
Agroveterinárias / UDESC.

1. Solos - Compactação. 2. Física do solo. 3.
Água na agricultura. 4. Pastagens. I.Título.

CDD – 631.4

OLMAR NEUWALD
Engenheiro Agrônomo

Atributos físicos e hídricos do solo e produtividade da soja em sistema integrado lavoura-pecuária, em Nitossolo Háplico sob diferentes sistemas de manejo

DISSERTAÇÃO

Submetida como parte dos requisitos para obtenção do título de

MESTRE EM CIÊNCIA DO SOLO

e aprovada em sua forma final pelo

CURSO DE MESTRADO EM CIÊNCIA DO SOLO

CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA

Aprovado em: 30/08/2005.

Pela Banca Examinadora:

E por:

Dr. Álvaro Luiz Mafra
Orientador
UDESC / LAGES – CAV

Dr. Jaime Antônio de Almeida
Coordenador Técnico do Curso de
Mestrado em Ciência do Solo
Coordenador do Programa de
Mestrado em Agronomia

Dr. Milton da Veiga
EPAGRI / CAMPOS NOVOS

Dr. Jackson Adriano Albuquerque
UDESC / LAGES – CAV

Dr. Paulo Cesar Cassol
Diretor Geral do Centro de Ciências
Agroveterinárias / UDESC

Dr. Ildegardis Bertol
UDESC / LAGES - CAV

Lages (SC), agosto de 2005.

À meu Pai (*in memorian*),
À minha Mãe
EU VOS DEDICO!

AGRADECIMENTOS

À Direção, Professores, Alunos e Funcionários do Centro de Educação Profissionalizante Caetano Costa – CEDUP – de São José do Cerrito, SC, pela cessão da área experimental, máquinas e equipamentos, mas, acima de tudo, pela pronta aceitação da proposta, disposição e colaboração na condução do trabalho;

Ao Professor Doutor Álvaro Luiz Mafra, pela orientação, cavalheirismo e paciência na orientação para condução deste orientado;

A todos os Professores do Mestrado em Ciência do Solo do CAV-UDESC que me honraram com seus conhecimentos, principalmente pela amizade e companheirismo;

À EPAGRI, por oportunizar-me a realização do curso através do Programa de Pós-Graduação;

À Universidade do Estado de Santa Catarina, por meio do Centro de Ciências Agroveterinárias e o Curso de Mestrado em Ciência do Solo pela aceitação no curso;

Aos funcionários do CAV, pela colaboração na realização das análises;

Aos colegas e amigos da Gerência Regional de Lages da EPAGRI, pelo encorajamento e apoio para a realização do curso;

Aos colegas de mestrado, hoje amigos, de quem aprendi muitas lições de vida, vocês foram magníficos!

E a você, que me incentivou!

Isso foi possível graças a DEUS.

*Obrigado por me conceder a vida e por
mais esta oportunidade de realização pessoal.*

ATRIBUTOS FÍSICOS E HÍDRICOS DO SOLO E PRODUTIVIDADE DA SOJA
EM SISTEMA INTEGRADO LAVOURA-PECUÁRIA, EM NITOSSOLO HÁPLICO
SOB DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO

Autor: Olmar Neuwald

Orientador: Prof. Álvaro Luiz Mafra

RESUMO

A integração lavoura-pecuária é viável sócio-economicamente mas o manejo inadequado pastagem pode degradar as propriedades relacionadas com a estrutura e agregação do solo e afetar o rendimento da cultura semeada em sucessão. Este estudo teve por objetivo avaliar as alterações em atributos físicos e hídricos do solo e no rendimento da soja cultivada em sucessão a pastagem de aveia com e sem pastejo por bovinos de leite. O estudo foi conduzido em São José do Cerrito, SC, num Nitossolo Háplico, textura argilosa com cinco sistemas de manejo: semeadura direta da soja sobre aveia não pastejada; semeadura direta da soja com aveia pastejada; semeadura direta da soja com aveia pastejada diferida; semeadura da soja após preparo convencional com aveia pastejada e semeadura da soja após preparo reduzido com aveia pastejada. Foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, para determinar a porosidade total, macro e microporosidade, densidade do solo, granulometria, grau de floculação, diâmetro médio ponderado e geométrico dos agregados, a retenção de água e a resistência do solo ao penetrômetro. Na pastagem, determinou-se a produção de massa seca e cobertura residual. Na soja, avaliou-se o "stand", altura de plantas, número de vagens, grãos por vagem, peso de 1.000 grãos e produtividade. Os manejos adotados não influenciaram o comportamento físico e hídrico do solo na camada de 0 a 5 cm, mais propensa de ser afetada pelo pisoteio animal. Em profundidade, constatou-se maior compactação do solo em comparação à camada superficial, provavelmente advinda do histórico de uso anterior da área sob preparo convencional e do adensamento natural do solo, com diminuição na porosidade total, macroporosidade e aumento na densidade e resistência do solo ao penetrômetro. Tais atributos físicos estiveram próximos ou foram superiores aos níveis críticos para essas variáveis em relação à condição adequada para o desenvolvimento radicular, especialmente na camada de 10 a 20 cm de profundidade. O preparo do solo, no sistema convencional, aumentou a macroporosidade e o volume de água disponível, reduziu a estabilidade dos agregados na camada de 10 a 20 cm e não influenciou a densidade e a resistência do solo ao penetrômetro para esta época de amostragem em relação aos demais sistemas. O diferimento da pastagem aumentou a produção de massa seca residual e a cobertura do solo. A altura das plantas de soja foi menor no preparo convencional do solo em relação aos manejos conservacionistas, entretanto, a produção e os componentes de rendimento desta cultura não foram afetados pelos sistemas de manejo.

Palavras-chave: água no solo, compactação, pastagem, pisoteio animal.

PHYSICAL AND HYDRIC SOIL ATTRIBUTES AND SOYBEAN YIELD IN AN
INTEGRATED CROP-LIVESTOCK SYSTEM IN A HAPLIC NITOSOL UNDER
DIFFERENT SOIL MANAGEMENT SYSTEMS

Author: Olmar Neuwald

Adviser: Álvaro Luiz Mafra

ABSTRACT

The integrated crop-livestock system is social and economically viable, but the inadequate soil management can degrade soil properties related with its structure and aggregation, and affect crop yields in succession. This study had the objective of evaluate alterations in physical and hydric soil attributes and the soybean yield cultivated in succession to a black oat pasture. The study was carried out in São José of Cerrito, SC, southern Brazil in a clayey Haplic Nitosol, under five management systems, namely: no-till soybean after not grazed black oat; no-till soybean after dairy cattle grazed black oat; no-till soybean after deferred black oat pasture; soybean under conventional tillage after grazed black oat; reduced tilled soybean after grazed black oat. Soil were sampled at 0-5, 5-10 and 10-20 cm layers, to determine total porosity, macro and micro porosity, soil bulk density, particle size distribution, flocculation degree, weight and geometric mean aggregate diameter, penetration resistance and soil available water. The dry-mass and residual plant cover of the pasture were also determined. The stand, height of plants, number of pods, grains per pod, weight of 1000 grains and soybean yield were evaluated. The adopted management did not influence the physical and hydraulic soil parameters in the superficial 0 to 5 cm layer, usually degraded by the animal trampling. The soil was more compacted in the deeper layer in comparison with the upper one, probably due to the previous use under conventional tillage, with decrease in the total porosity, macro porosity and increase in the bulk density and penetration resistance. Such soil physical attributes were close or higher, especially in the 10 to 20 cm layer, to the critical levels for those variables related to the appropriate condition for the root development. The soil ploughing in the conventional tillage increased macro porosity and amount of available water, but reduced aggregate stability in the 10 to 20 cm layer in relation to the other tillage systems. However, the soil tillage didn't influence bulk density and penetration resistance at time of sampling. The deferment of the pasture increased its residual dry-mass production and the percentage of soil cover by plant residues. The soybean plant height was smaller under conventional than in conservation tillage. However, yield components and total grain production of this crop were not affected by the management systems.

Keywords: animal trampling, compaction, pasture, soil water.

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	
2.1. Conceitos, vantagens e entraves à integração	14
2.2. Contexto sócio-econômico	16
2.3. Rendimento das lavouras, criações e lucratividade da integração	17
2.4. Características físicas do solo	21
2.5. Definição do problema e hipóteses	25
3. MATERIAL E MÉTODOS	
3.1. Localização e histórico de uso da área	27
3.2. Delineamento experimental e tratamentos	28
3.3. Implantação e manejo das culturas e dos animais	29
3.4. Amostragens e avaliações	
3.4.1. Pastagem e cobertura residual	31
3.4.2. Análises físicas do solo	32
3.4.3. Análises químicas do solo	33
3.4.4. Avaliações na soja	33
3.5. Análises estatísticas	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	
4.1. Produção de forragem e cobertura residual do solo	35
4.2. Porosidade, densidade e resistência do solo ao penetrômetro ...	41
4.3. Textura, grau de floculação e estabilidade de agregados do solo	50
4.4. Retenção de água pelo solo	58
4.5. Produção e componentes do rendimento da soja	64
5. CONCLUSÕES	70
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
7. APÊNDICES	79

RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
1. Características químicas do solo da área experimental em diferentes profundidades. São José Cerrito, 2004	27
2. Produção de massa aérea residual seca e cobertura do solo pelos resíduos de aveia após preparo do solo, antes da semeadura da soja. CEDUP / São José do Cerrito, 2003	39
3. Resumo da análise de variância (ANOVA) para propriedades físicas em três profundidades e sistemas de manejo, 124 dias após semeadura da soja, em um Nitossolo Háplico, 2004.	41
4. Propriedades físicas de um Nitossolo Háplico nos sistemas de manejo, aos 124 DAS da soja. São José do Cerrito, 2004.	43
5. Resistência de um Nitossolo Háplico ao penetrômetro nos sistemas de manejo, 124 DAS da soja. São José do Cerrito, 2004.	46
6. Resumo da análise de variância para propriedades físico-químicas relacionadas com a textura, estabilidade de agregados e CO em profundidade e nos sistemas de manejo, 124 DAS da soja, num Nitossolo Háplico, 2004.	50
7. Teores de argila e grau de floculação em três profundidades e nos sistemas de manejo, 124 DAS da soja, num Nitossolo Háplico, 2004.	52
8. Propriedades físicas relacionadas com a estabilidade de agregados e carbono orgânico do solo em três profundidades e nos sistemas de manejo, 124 DAS da soja, num Nitossolo Háplico, 2004.	55
9. Resumo da análise de variância para água disponível em profundidade e nos sistemas de manejo, 124 DAS da soja, num Nitossolo Háplico, 2004.	61
10. Água disponível em três profundidades e nos sistemas de manejo em solo Nitossolo Háplico, 2004.	62
11. Resumo da análise de variância e teste de normalidade para componentes do rendimento e produção da soja após pastagem de inverno, em solo Nitossolo Háplico, 2004.	64
12. Componentes do rendimento da soja após pastagem de inverno nos sistemas de manejo do solo, num Nitossolo Háplico, 2004.	65

RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
1. Croqui da condução do experimento no período de inverno. CEDUP, São José do Cerrito, SC.	29
2. Produção de massa da pastagem com aveia + azevém + ervilhaca em pastejo rotativo com bovinos de leite, CEDUP, 2003.	37
3. Resistência ao penetrômetro aos 124 DAS de soja em área com e sem pastejo no inverno, nas profundidades de 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm, em um Nitossolo Háplico, São José do Cerrito, 2004.	47
4. Relação entre (a) RP e umidade gravimétrica e entre (b) RP e densidade do solo num Nitossolo Háplico. São José do Cerrito, 2004.	49
5. Curva característica de retenção da água no solo para cinco sistemas de manejo nas profundidades de 0 – 5 cm (a), 5 – 10 cm (b) e 10 a 20 cm (c), de um solo Nitossolo Háplico, 2004.	59
6. Rendimento da soja nos sistemas de manejo após pastagem de inverno, em Nitossolo Háplico, 2004.	67

RELAÇÃO DE QUADROS

	Página
1. Descrição dos tratamentos e abreviatura utilizada	28
2. Coeficiente de correlação de Pearson e probabilidade para AD, θ_v , MA, MI, DMP e CO e PROD na profundidade de 0-20 cm e nos sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico, 2004.	63

RELAÇÃO DE APÊNDICES

	Página
1. Propriedades físicas em três profundidades e nos sistemas de manejo, 124 dias após semeadura da soja, em Nitossolo Háplico, 2004.	80
2. Granulometria, GF, DMP, DMG e CO em três profundidades nos sistemas de manejo, 124 DAS de soja, em Nitossolo Háplico, 2004.	82
3. Parâmetros empíricos do modelo de Van Genuchten (1980), obtidos pelo programa SWRC (Dourado Neto et al., 2001) em três profundidades nos sistemas de manejo, 124 DAS de soja, em Nitossolo Háplico, 2004.	84
4. Umidade volumétrica ajustada pela equação de Van Genuchten (1980) em três profundidades e nos sistemas de manejo, 124 DAS de soja, em Nitossolo Háplico, 2004.	85
5. Umidade volumétrica média obtida na câmara de Richards em diferentes succões, em três profundidades e nos sistemas de manejo, em amostras coletadas 124 DAS de soja, em Nitossolo Háplico, 2004.	86
6. Produção da massa de forragem de uma pastagem de aveia + azevém + erva-lhaca em kg MS ha ⁻¹ , cultivada em um Nitossolo Háplico, 2004.	87
7. Análise de correlação de Pearson entre componentes do rendimento da soja e componentes da pastagem de inverno para tratamentos sem mobilização do solo (ASSD, APSD e APDF).	88
8. Análise de correlação de Pearson entre componentes do rendimento da soja e componentes da pastagem de inverno, de todos os tratamentos, 2004.	89
9. Análise de correlação de Pearson entre propriedades físicas e químicas aos 124 DAS da soja, num solo Nitossolo Háplico, 2004. .	90

1. INTRODUÇÃO

À luz dos conhecimentos atuais o solo, não é entendido apenas como a base de sustentação onde se desenvolve a agricultura, mas, em conjunto com a água e a atmosfera, constitui o complexo sistema Solo-Planta-Atmosfera, em equilíbrio dinâmico e regido pelas leis universais da adaptação e da diversidade. A ação antrópica interfere nesse equilíbrio e ameaça a natureza no todo e, principalmente, a própria existência do homem, através da poluição das águas, do solo e da atmosfera.

A degradação do solo, definida como declínio da sua qualidade, causada principalmente pela atividade humana, é uma questão discutida globalmente desde o século passado, devido a seu forte impacto na segurança alimentar e qualidade ambiental.

O mecanismo da degradação do solo envolve processos físicos, hídricos, mecânicos, químicos e biológicos. Dentre os processos físicos, a desestruturação do solo conduz ao selamento e encrostamento, compactação sub-superficial, erosão, desertificação, anaerobismo e poluição ambiental, culminando com a degradação dos recursos naturais. Os processos químicos significativos incluem a acidificação, lixiviação, salinização, diminuição da capacidade de troca de cátions e da fertilidade, enquanto os processos biológicos envolvem a oxidação do carbono da biomassa e reduz a biodiversidade do solo. Assim, a degradação do solo é um processo biofísico, induzido por atitudes sócio-econômicas e políticas.

A degradação ambiental despertou, a partir da década de 80, uma fase de conscientização para a insustentabilidade dessa ação humana, o que levou à procura de uma agricultura sustentável, a qual tornaria possível sustentar, por gerações, a produção agropecuária em equilíbrio com o ambiente.

É neste contexto que se insere a proposta de integrar a agricultura e a pecuária, no sistema de semeadura direta, procurando entender as interações e manter a qualidade física do solo, aqui definida como a capacidade física do solo em

sustentar o pleno desenvolvimento das plantas. A integração lavoura-pecuária, em sistema de semeadura direta deve ser conduzida como um subsistema que procura manter o complexo equilíbrio dinâmico do sistema solo-planta-atmosfera.

As implicações sobre o solo e o comportamento das plantas em sistemas de integração lavoura-pecuária são ainda pouco compreendidas. Algumas constatações práticas a campo, especialmente em solos mais argilosos, têm evidenciado decréscimo do rendimento das culturas anuais de verão, o qual é atribuído à compactação do solo pelo preparo inadequado e/ou pelo pisoteio animal intensivo durante o inverno.

O sistema lavoura-pecuária quando bem manejado, proporciona benefícios mútuos, tanto para a pastagem de inverno que poderá utilizar-se da correção e fertilização do solo para as culturas anuais de verão, dando melhores resultados no ganho de peso animal, quanto para as culturas de verão, devido a reciclagem de nutrientes feita pela pastagem, atividade microbiana, incremento de matéria orgânica e diminuição de incidência de pragas e doenças.

Um dos fatores que influencia a condição do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária é o tipo de preparo do solo utilizado, tanto na implantação das pastagens, quanto das culturas de verão. Normalmente, as forrageiras de inverno utilizadas, como aveia e azevém, são semeadas a lanço e incorporadas superficialmente ao solo por meio de gradagem leve. A implantação da cultura de verão pode ser feita por semeadura direta, o que dispensa o revolvimento do solo, ou ainda, empregando-se o preparo reduzido com escarificador ou o preparo convencional com arado e grade, o que implica em maior revolvimento do solo e risco de erosão. Nesse caso, há rompimento mecânico da camada superficial compactada, o que pode resultar em melhor resposta das forrageiras e das culturas.

O efeito da descompactação também pode ser alcançado pela ação do sistema radicular da própria pastagem e pela atividade da fauna do solo. Isto é mais evidente se a pastagem for submetida a um período de descanso, suficiente para promover acúmulo de fitomassa.

Baseado nestas premissas conduziu-se o presente estudo, objetivando verificar os efeitos da integração lavoura-pecuária, conduzida em diferentes sistemas de preparo do solo no verão, no comportamento físico-hídrico do solo, bem como observar a relação entre o manejo dado à pastagem e ao solo no desenvolvimento das plantas e produção de soja semeada em seqüência.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Conceito, vantagens e entraves à integração lavoura-pecuária

O termo integração lavoura-pecuária tem sido utilizado de forma genérica para sistemas de produção em que participam atividades agrícolas e pecuárias, com um mínimo de interface entre elas (MORAES et al., 2000). É um conceito amplo que abrange desde a produção de matéria prima para ração animal (grãos, volumosos e feno) até o pastoreio direto.

Mello (2003), define a integração lavoura-pecuária como sendo o 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 a outra.

Segundo Cassol (2003), o sistema é utilizado há muitos anos e de formas diferentes em várias partes do mundo, tendendo a predominar principalmente nas pequenas propriedades de países da Ásia, integrando a produção de animais de pequeno a grande porte com a produção de grãos. Ainda segundo o mesmo autor, no Brasil existe certo preconceito, por razão cultural, do produtor de grãos produzir carne e leite ou vive-versa.

No Brasil, basicamente são conduzidos dois modelos de integração lavoura-pecuária: o modelo de exploração via integração espacial (atividades de pecuária e produção de grãos em áreas distintas) e o modelo de integração temporal (períodos de ocupação com pecuária, seguido por períodos com o cultivo de grãos).

No modelo de integração temporal, podem-se distinguir duas formas de integração: em uma destas formas, o sistema de exploração é um esquema de rotação por períodos de 3 a 4 anos com pastagem e subsequente retorno da agricultura, sendo esta considerada como recuperadora do solo. Este sistema de condução é muito utilizado na região Centro-Oeste do Brasil. Noutra forma, o sistema

de exploração envolve a produção de grãos no verão e de pastagens no inverno, anualmente, utilizando-se principalmente de aveia, milheto e sorgo forrageiro na região Centro-Oeste e de aveia e azevém na região Sul do Brasil.

O presente trabalho aborda a integração lavoura-pecuária no modelo de integração temporal em sistema de semeadura direta de grãos que predomina na região Sul. Neste enfoque, o uso do solo se dá de forma intensiva, e várias implicações de ordem química, física e biológica decorrem desse uso.

Os benefícios da integração são mútuos quando o sistema é bem manejado, dentre os quais se destacam: 1) Aproveitamento pelas pastagens de inverno da adubação residual das culturas de verão, elevando o potencial produtivo e qualitativo das pastagens; 2) Aumento da eficiência de reciclagem de nutrientes, devido à biomassa residual e à reciclagem pelas fezes e urina dos animais; 3) Diminuição da ocorrência de plantas daninhas e quebra do ciclo de pragas e microrganismos patogênicos; 4) Aumento da microflora e microfauna no horizonte superficial do solo; 5) Melhoria das condições físicas do solo, pelo efeito cimentante da matéria orgânica; 6) Diversificação do sistema produtivo e maior eficiência na utilização de máquinas, equipamentos e mão-de-obra; 7) Promoção da sustentabilidade do negócio agropecuário (CASSOL, 2003; MACEDO, 2001; VILELA et al., 2001).

Apesar dessas vantagens, alguns entraves envolvem o processo de integração, estando relacionados com as limitações de infra-estrutura, risco de compactação do solo, maior aporte de recursos financeiros, maior complexidade do sistema, exigindo conhecimentos tecnológicos, além daqueles relacionados com a aptidão pessoal e barreiras sociais dos produtores (CASSOL, 2003; MACEDO, 2001).

Neste contexto, entende-se que a integração lavoura-pecuária não é simplesmente o uso da agricultura para introduzir ou reformar pastagens, quer sejam elas anuais ou perenes, mas um sistema que envolve a complexa relação solo-planta-animal, o qual deve ser planejado visando a utilização racional do recurso solo, em que as lavouras e animais participantes são mutuamente beneficiados.

2.2 Contexto sócio-econômico

O agronegócio representa aproximadamente 34% do PIB brasileiro, sendo responsável por 42% das exportações. Em 2003, o superávit da balança comercial brasileira foi de US\$ 24,8 bilhões e deveu-se unicamente às exportações de produtos primários, pois os demais setores foram deficitários em US\$ 1,02 bilhão (BRUM, 2004).

Segundo o mesmo autor, o mundo atual, altamente competitivo, cada vez mais globalizado e interdependente, está obrigando os agricultores a se transformarem em empresários rurais capazes de gerenciar suas atividades como um sistema agropecuário único. Assim, por mais que o processo econômico atual se encaminhe para a especialização, o risco de se apostar em uma única atividade é muito grande. Neste contexto, é importante associar economicamente as atividades primárias, como a lavoura e a pecuária, de forma a diversificar seus ganhos numa lógica produtiva sistêmica.

As culturas de verão, principalmente soja, milho e feijão, ocupam anualmente cerca de 1.260 mil hectares em Santa Catarina. As culturas de inverno para produção de grãos se restringem basicamente a 81 mil hectares cultivados com trigo e o restante da área é ocupada com pastagens de inverno, plantas de cobertura ou pousio (INSTITUTO CEPA/SC, 2004).

O aproveitamento das áreas ociosas no inverno com pastagens, possibilita incrementar a produção de carne bovina e leite, tornando possível atingir-se a auto-suficiência na produção de carne bovina, uma vez que o estado importa anualmente em torno de 62 mil toneladas (INSTITUTO CEPA/SC, 2004), o equivalente a 280 mil bovinos próprios para abate. Por outro lado, as pequenas propriedades assumem papel relevante na produção agropecuária de Santa Catarina, pois 69% do rebanho bovino catarinense se concentram nas pequenas propriedades (menores de 100 hectares), assim como 79% da área cultivada anualmente com milho, soja e feijão (IBGE, 1997).

Na região Oeste de Santa Catarina, esta concentração do rebanho é mais acentuada. Conforme Testa et al. (2003), naquela região os estabelecimentos menores que 100 hectares representam 98,5% do total e são responsáveis por 95,8% da produção de leite e, por outro lado, 54,5% da produção é originária de produtores que declararam ter sua principal atividade na lavoura temporária e

lavoura+pecuária, enquanto aqueles que têm na pecuária sua principal atividade (30,4% do total), respondem por 44,8% da produção de leite.

É neste perfil de estabelecimento rural que o solo é usado intensivamente, com impacto negativo nas propriedades físicas, químicas e biológicas, agravado pelo fato destes estabelecimentos rurais geralmente se localizarem nas áreas de maior declividade, gerando conflitos de uso do solo que justificam pesquisas, acompanhamento e geração de tecnologias apropriadas.

2.3 Rendimento das lavouras, criações e lucratividade da integração

Os benefícios da integração lavoura-pecuária são mútuos quando ela é eficientemente manejada. No sistema semeadura direta, essa integração pode ser implantada com rapidez, sem a degradação do solo decorrente das operações de preparo convencional (AMADO e ELTZ, 2003).

Leite et al. (2004), comparando a produção de soja obtida na integração lavoura-pecuária em sistema de semeadura direta com aquela obtidas em pastagem de inverno com diferentes alturas de manejo e em área sem pastejo, verificaram que o efeito do pisoteio animal, sob qualquer altura de pastejo, não alterou o rendimento da cultura, obtendo produtividade acima de $3,5 \text{ Mg ha}^{-1}$.

Assmann et al. (2003), em estudo sobre o efeito residual do nitrogênio (N) no milho cultivado em áreas onde houve a combinação dos fatores doses de N, presenças ou não de animais em pastejo no inverno e presença ou não de trevo branco, verificaram que o pastejo não prejudicou a produtividade do milho na área que recebeu adubação nitrogenada e, inclusive, o pastejo aumentou a produção de milho, atribuído à maior reciclagem do N nas áreas pastoreadas.

Resultados divergentes foram encontrados por Albuquerque et al. (2001) que verificaram redução na produção e nas características da planta de milho no sistema semeadura direta quando comparado com preparo convencional, ambos em áreas submetidas ao pisoteio animal durante o inverno.

Estudo realizado em Guarapuava, PR (LUSTOSA, 1998), substituindo produção de grãos de inverno por pastagens (integrado) e comparando com sistema somente de grãos (tradicional), durante três anos, mostrou que a produção de soja

na safra 1995/96 foi superior no sistema integrado, sem diferença na safra 1997/98. A produção de milho, cultivado na safra 1996/97, foi superior no sistema tradicional, diferença esta atribuída a época tardia de semeadura do milho no sistema integrado. O autor comparou a lucratividade por meio da margem bruta e verificou que o melhor sistema é aquele em que no inverno utiliza-se pastagem, concluindo que a substituição de cereais no inverno (trigo, cevada ou apenas cobertura verde) por pastagens para bovinos é interessante sob os aspectos de lucratividade, estabilidade e sustentabilidade do sistema.

Com relação à resposta dos animais na integração lavoura-pecuária, os trabalhos são unânimes em apontar vantagens do sistema. Isto se deve à significativa redução de peso que os animais sofrem no período de inverno em sistemas baseados unicamente no campo nativo, por consequência da redução quali-quantitativa da forragem.

Vilela et al. (2001), apresentaram resultados positivos de produção animal de uma propriedade rural situada em Uberlândia, MG, com área de 1.014 ha, convertida de exclusivamente pecuária para o sistema lavoura-pecuária. No início da conversão em 1983, a propriedade possuía um rebanho de 1.094 cabeças com uma lotação média de 1,1 cabeça ha^{-1} , sem lavouras. Na avaliação de 1996, portanto 18 anos após, 64% da área era destinada para lavouras e apenas 36% da área utilizada exclusivamente com pastagens, mas, mesmo assim, o rebanho evoluiu para 1.200 cabeças, gerando uma lotação de 3,2 cabeças ha^{-1} .

Na avaliação de três anos de um experimento de longa duração no Rio Grande do Sul, objetivando definir nível crítico de biomassa no solo para a cultura de verão, a pastagem de inverno foi manejada em quatro alturas por meio de diferentes cargas animal, obtendo-se pequena diferença no ganho médio diário que variou entre 0,85 a 1,15 kg animal $^{-1}$ dia $^{-1}$, mas gerou alta diferença no ganho de peso por hectare, entre 143 kg ha^{-1} na menor carga animal e 520 kg ha^{-1} para a maior carga animal, que correspondem a 40 e 10 cm de altura de manejo da pastagem, respectivamente (CARVALHO et al., 2004). No entanto, como ressaltado pelos autores, o sucesso da integração depende de uma visão sistêmica e, assim, embora o maior ganho pecuário seja com pastagem em baixa altura, esse aspecto se refletirá em menor biomassa residual para a cultura de verão, com possibilidade de maior compactação do solo pelo excessivo pisoteio e provável diminuição na produtividade da soja. No presente caso, observaram que a produção de soja somente foi afetada,

utilizando alta carga animal, em ano de déficit hídrico, sem afetar, no entanto, a receita calculada pela margem bruta, demonstrando a viabilidade do sistema de integração.

Vários outros trabalhos apresentam resultados positivos e demonstram a viabilidade técnica e econômica da pecuária de corte integrada com agricultura, em que a maior preocupação reside na disponibilização de resíduos em quantidade suficiente para a cultura de verão, visando sustentar o sistema de semeadura direta. Os efeitos deletérios do pisoteio animal sobre o solo são contornados com adequadas práticas de manejo do rebanho, principalmente através do controle da lotação em função da oferta de forragem. Preocupação maior deve ser dada quando a atividade pecuária é com a bovinocultura de leite, onde o uso do solo se dá de forma mais intensiva por características próprias da atividade.

A produção leiteira vem se expandindo em praticamente todas as regiões do Brasil e principalmente naquelas em que predominam as pequenas propriedades rurais, tanto por opção dos produtores como pela recomendação e incentivo de técnicos e setores de política rural. Essa expansão nas pequenas propriedades se deve principalmente a fatores como a disponibilidade de mão-de-obra familiar, falta de outra alternativa de renda para o período de inverno e possibilidade de entrada mensal de dinheiro na propriedade (TESTA et al., 1996; MELLO, 1998; MACHADO et al, 2002; INSTITUTO CEPA/SC, 2004).

A intensificação da atividade e, por consequência o aumento da produção, aliada à abertura dos mercados provocando importação de produtos lácteos nos momentos de variação cambial favorável, elevou a competitividade do setor e a questão dominante no setor é como aumentar (ou manter) a produção com menor custo. Por outro lado, o sistema de alimentação do rebanho no sul do Brasil é baseado na produção forrageira, tanto na forma armazenada, principalmente silagem, como em pastoreio direto.

Neste sentido, como o item alimentação é o que mais pesa no custo da atividade leiteira, no momento de cortar custos, os produtores erroneamente deixam de investir nas pastagens, explorando-as ao máximo. Por consequência, alguns estabelecimentos rurais já se encontram em situação de insustentabilidade devido à degradação do solo, conforme constatado por Machado et al. (2002), na região Sudoeste do Paraná.

Esta degradação decorre das limitações de área nessas propriedades, onde o pastejo indiscriminado sem um adequado manejo, uso além da capacidade de suporte e sem considerar as características do solo, resultam no seu empobrecimento pela extração de nutrientes sem a devida reposição, erosão pela diminuição da cobertura superficial e degradação física pelo excessivo pisoteio (BERTOL et al., 1998; BERTOL et al, 2000), cujo ciclo da degradação, normalmente leva ao abandono das propriedades rurais.

Dentre as variáveis que influenciam a tomada de decisão dos agricultores em relação à adoção ou não por uma prática agrícola ou nova alternativa de produção, certamente a lucratividade dos sistemas de produção é um dos fatores com maior peso. No entanto, conforme ressalta Fontaneli et al. (2000), poucos trabalhos sobre análise econômica em sistemas de produção com pastagens anuais de inverno foram realizados no sul do Brasil. Neste sentido, os referidos autores compararam a receita líquida obtida em sistemas exclusivamente com grãos com outro que envolvia pastagens de inverno, concluindo pela maior rentabilidade e viabilidade deste.

Trabalhando com os dados do mesmo experimento, Ambrosi et al. (2001), aplicaram três tipos de análise de risco à receita líquida, concluindo, através do método da dominância estocástica, que o sistema integrado lavoura-pecuária foi a melhor alternativa para os agricultores, analisada pelos aspectos de rentabilidade e menor risco.

Em trabalho recente, Cassol (2003), analisou a lucratividade de um sistema integrado bovino de corte e soja em sucessão. O autor comparou quatro alturas de manejo da pastagem, controlada pela lotação dos bovinos, e uma área sem pastejo. Não constatou diferença na margem bruta, concluindo que, manter uma altura de pastagem entre 20 a 30 cm garante segurança ao produtor e preserva a sustentabilidade do sistema, pois além de propiciar ganhos com a pecuária e a soja ainda mantém uma cobertura do solo adequada, preservando o sistema de semeadura direta.

2.4 Características físicas do solo

Operações agrícolas envolvendo mobilização e trânsito de máquinas pode alterar a estrutura do solo, modificando as condições que determinam o ambiente de crescimento das raízes. Da mesma forma, solo usado com pastagem pode sofrer alterações físicas devido ao pisoteio animal, principalmente na camada superficial (BERTOL et al., 2000; CANTARUTTI et al., 2001; CASSOL, 2003; MELLO, 2003; REICHERT et al, 2003).

O tipo, a intensidade e a freqüência da carga aplicada caracterizam os fatores de ordem externa que afetam a intensidade de deformação que o solo pode sofrer (DIAS JÚNIOR, 2000). Associando estes aspectos com o pisoteio animal, este provocará maior ou menor alteração no solo dependendo, entre outros fatores, do tipo de animal, da idade do animal, da lotação (carga animal), do sistema de manejo da pastagem (contínuo ou rotativo) e da altura da pastagem (oferta de forragem). Além destes, o tipo (textura), a estrutura e a condição de umidade do solo no período de pastejo também se relacionam com o efeito do pisoteio (SILVA et al., 2000; BERTOL et al., 2000; CANTARUTTI, et al., 2001; MELLO, 2003).

As alterações físicas do solo se devem às pressões exercidas pelos animais que podem ser superiores àquelas exercidas por algumas máquinas agrícolas, variando, segundo Sousa et al. (1998), de 163 a 190 kPa, conforme a idade do bovino (bezerro a boi adulto). De acordo com Silva et al. (2000), um trator agrícola proporciona uma pressão de 92 até 600 kPa, dependendo do porte, carga da máquina e tracionando máquina ou não. Por outro lado, Silva et al. (1997), estimam em 350 kPa a pressão aplicada ao solo por um bovino de 400 kg. Estes valores referem-se à carga estática e, quando em movimento, a pressão exercida pelo animal deve ser superior.

Compactação é um termo geral que abrange vários processos que ocorrem no solo quando submetido a uma compressão, reduzindo seu volume pela expulsão do ar dos poros, diferenciando-se do termo adensamento. O adensamento ocorre por processos pedogenéticos (DIAS JÚNIOR, 2000), como a deposição de partículas menores no espaço poroso devido a desagregação da estrutura, aumentando a densidade sem a participação de pressão (STONE, et al., 2002).

Um solo em estado compactado se caracteriza pelo aumento da sua densidade (Ds) e da resistência à penetração das raízes (RP), redução da

porosidade total (PT), principalmente da macroporosidade (MA). Isto afeta por consequência, atributos do solo como a infiltração de água, permeabilidade e condutividade hidráulica, prejudicando, ainda, o desenvolvimento das plantas por inadequado suprimento ou renovação de água, oxigênio e nutrientes. Na condição de solo seco, o pisoteio pode provocar o quebramento e pulverização dos agregados do solo.

A infiltração de água no solo é o mais importante indicador do seu estado de compactação. Entretanto, por sofrerem menor influência do conteúdo de água no momento da amostragem, os indicadores mais usados são a MA, PT, MI e a Ds, e de certa forma, a resistência à penetração de raízes avaliada por penetrômetro (REICHERT et al, 2003).

A manutenção de níveis adequados de forragem sobre o solo atenua ou impede que o pisoteio animal comprometa suas propriedades e atributos. Silva et al. (2000), trabalhando em um solo de textura franca, não observaram efeito do pisoteio nas suas características físicas (Ds e PT), o que atribuíram à manutenção de aproximadamente $1,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ de massa seca de forragem. Em virtude disso, o impacto da pata do animal não se dava diretamente sobre o solo, mas sobre o resíduo vegetal.

Os efeitos nas propriedades do solo relacionadas com a compactação são semelhantes e geralmente se restringem à camada superficial, na condição em que a carga animal excede a capacidade de suporte da pastagem, em solos com textura e estrutura distintas e com diferentes manejos da pastagem,.

Trein et al. (1991), trabalhando com alta pressão de pastejo (40 Mg ha^{-1}), em curto período de tempo (40 horas), em solo de textura franco-argilosa, verificaram aumento da densidade do solo, microporosidade e resistência ao penetrômetro, com diminuição da macroporosidade na camada de 0 a 7,5 cm. Resultados semelhantes, porém na camada de 0 a 5 cm, foram observados por Bertol et al. (2000), trabalhando em Cambissolo Húmico após dois anos de pastoreio com carga animal de $2,4 \text{ Mg ha}^{-1}$ e por Salton et al. (2002), num Latossolo Vermelho de textura muito argilosa, trabalhando com carga animal de $3,7 \text{ Mg ha}^{-1}$ por 30 dias, em sistema de pastejo rotativo.

A carga animal ajustada à produção de massa forrageira não reflete negativamente nos atributos do solo relacionados com a compactação (SILVA et al., 2000). De maneira semelhante, Bertol et al. (2000) concluíram que uma oferta de

12% de forragem (capim elefante anão, cv Mott) não afetou as propriedades físicas do solo. Bassani (1996), também não observou influência do pisoteio na compactação da camada até 8,6 cm de profundidade do solo, aplicando uma carga animal média de 775 kg de peso vivo ha^{-1} continuamente, por aproximadamente quatro meses, sobre uma massa de forragem de 2,0 Mg ha^{-1} .

Um dos propósitos do preparo do solo é criar um ambiente favorável para o crescimento das raízes. Assim, ao efeito do pisoteio animal deve-se associar as alterações que sistemas de manejo baseados no não revolvimento do solo, como o sistema de semeadura direta, provocam na agregação e compactação do solo e que, em algumas situações, pode agravar o problema. Essas alterações são muito variáveis, devido às diferenças de solo, clima, número de operações, tamanho de equipamentos e tipo de cultura empregada. Assim, o histórico de uso e manejo determina a magnitude do efeito sobre as propriedades físicas do solo (REICHERT et al., 2003; VEIGA, 2005).

Tem-se verificado, no entanto, que o aporte contínuo de resíduos na superfície e a ausência de preparo do solo, resultam na criação de um sistema poroso estável e contínuo em profundidade, promovendo condições favoráveis para o fluxo da água e do ar. Isto aumenta a resistência do solo à deformação e à transmissão de tensões aplicadas na superfície para camadas mais profundas, atribuídas ao aumento da matéria orgânica e do número de bioporos decorrentes da decomposição de raízes e ação da mesofauna (AMADO et al., 2003; VEIGA, 2005).

A agregação e a estabilidade dos agregados ocorrem mediante processos físicos, químicos e biológicos. Este processo é muito dependente da matéria orgânica, em seus diferentes estágios, dos exsudatos e da ação física do sistema radicular das plantas e da ação de microrganismos. Desta forma, os sistemas de manejo do solo influem fortemente na condição de agregação. De acordo com Reichert et al. (2003), o sistema de semeadura direta, após alguns anos, incrementa a agregação do solo, a qual é expressa pela estabilidade de agregados.

Estudando os efeitos de longo prazo (21 anos sem pisoteio animal) provocados por sistemas de preparo nas propriedades físicas do solo, Costa et al. (2003), concluíram que a semeadura direta apresentou melhor condição estrutural que o sistema de preparo convencional. Isto foi evidenciado principalmente, pela redução da densidade do solo em sub-superfície (0,1-0,2 m) e aumento da umidade

volumétrica e da estabilidade de agregados na camada superficial, de 0 – 0,1 m e de 0 - 0,05 m, respectivamente.

A ação física do pisoteio animal pode provocar desagregação do solo. No entanto, Bertol e Santos (1995) não constataram diferença comparando o diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados na camada superficial de um Cambissolo Húmico cultivado com lavoura (preparo convencional)+pastagem em relação ao uso com mata nativa, reflorestamento e campo nativo, mas o DMP foi menor, em profundidade, no manejo lavoura+pastagem. Esse resultado pode estar relacionado com a intensidade de pastejo e ação das raízes na camada superficial, pois a menor pressão de pastejo, tanto em campo nativo como em pastagem de capim elefante anão, propiciou maior estabilidade de agregados quando comparado com altas pressões (Bertol et al., 1998; 2000).

As propriedades e atributos do solo atuam conjuntamente e podem não ter significado para o crescimento das plantas se analisados isoladamente. As variações na porosidade, densidade, resistência à penetração mecânica e agregação, devem ser contextualizados em termos da relação ar-água do solo disponível para as plantas.

Conforme Silva et al. (2005), os sistemas de preparo podem influenciar o armazenamento de água disponível para as plantas, devido às modificações na estrutura, porosidade e teor de carbono orgânico, alterando as forças de retenção e disponibilidade de água do solo para as plantas. Desta forma, sistemas conservacionistas como a semeadura direta e preparo reduzido, podem contribuir para uma melhor condição físico-hídrica do solo e disponibilizar maior volume de água para as plantas, quando comparados ao preparo convencional.

Ao estudar os efeitos de sistema convencional de preparo, preparo reduzido e semeadura direta, nos atributos relacionados ao armazenamento de água de um Argissolo Vermelho, em experimento de longa duração (17 anos), Silva et al. (2005), não observaram efeitos significativos na retenção e na água disponível, atribuindo as pequenas variações encontradas ao efeito da estrutura e da matéria orgânica na distribuição do tamanho dos poros.

De maneira geral, as propriedades físicas do solo podem ou não ser afetadas pelo pisoteio animal. Isso depende fundamentalmente do manejo dado à pastagem, principalmente condicionando o pastejo à oferta de forragem, mantendo-se níveis adequados de forragem em base de massa seca, para amenizar o impacto

dos cascos dos animais sobre o solo. Por outro lado, sistemas de preparo do solo podem influenciar nas suas propriedades, dependendo do histórico anterior da área, da textura e estrutura do solo, mas, normalmente, o sistema de semeadura direta mostra-se adequado em prover as condições para o pleno desenvolvimento das plantas e dar suporte à integração lavoura-pecuária.

2.5 Definição do problema e hipóteses

A produção vegetal resulta da conjugação de uma série de fatores ambientais, edáficos e genéticos. Dentre os primeiros, estão a temperatura, composição da atmosfera no entorno das plantas, disponibilidade de água, suprimento de nutrientes e uma adequada estrutura do solo. O sistema de manejo do solo interfere em todos esses fatores de crescimento das plantas, com respostas diferenciadas conforme o solo e condições climáticas.

A consolidação do sistema de semeadura direta propiciou grande desenvolvimento tecnológico para a agricultura e se refletiu em aumento significativo da produtividade das lavouras de grãos. Fato este, que associado à racionalização no uso de máquinas, equipamentos e mão-de-obra, elevaram a rentabilidade do setor. Devido, em parte, a esses fatores, a área ocupada com agricultura aumentou significativamente nos últimos anos e deu-se principalmente pela ocupação de áreas tradicionais de pecuária extensiva.

Uma forma comum de ocupação do espaço pecuário pela agricultura, deu-se na forma de arrendamento das terras pelos pecuaristas aos agricultores especializados e estruturados para a produção de grãos. Uma das formas usuais de pagamento desse arrendamento é mediante a formação de pastagens anuais no inverno, destinadas à alimentação do rebanho bovino, o que leva ao uso mais intensivo do solo.

A integração lavoura-pecuária pode ser adequada, técnica e economicamente, devendo-se, contudo, considerar a rotação de culturas e o manejo adequado do solo e da pastagem. No entanto, observam-se com freqüência, práticas de manejo culminando com a degradação do solo, que se manifesta na forma principal de compactação, provocada pelo tráfego intenso de máquinas e ação

do pisoteio animal. Este, particularmente, é mais prejudicial ao solo quando são utilizadas altas lotações de animais em períodos úmidos, como é o caso do período de inverno na região sul do Brasil, época do ano em que o solo permanece com elevada umidade, favorecendo a compactação.

Além da compactação, o pastejo indiscriminado e sem manejo adequado diminui a cobertura do solo, favorecendo a erosão hídrica e consequente empobrecimento do solo que pode ser agravado pela extração de nutrientes pelos animais que consomem a pastagem, pois apenas parte do material ingerido retorna ao solo pelos dejetos animais (HODGSON, 1990).

Algumas constatações práticas a campo, especialmente em solos mais argilosos, têm evidenciado decréscimo do rendimento das culturas anuais, atribuído à compactação do solo pelo preparo inadequado e pisoteio animal.

Com base nesta situação, este trabalho procura avaliar o efeito da integração lavoura-pecuária, em sistema de semeadura direta, no comportamento físico-hídrico do solo e no desenvolvimento das plantas, relacionando com métodos de manejo da pastagem como o pastejo rotativo e diferimento da pastagem e métodos de preparo do solo e semeadura da cultura de soja.

Dentro deste contexto estabeleceram-se duas hipóteses: (a) as propriedades físico-hídricas do solo são afetadas pelo pisoteio animal na integração lavoura-pecuária conduzida no sistema de semeadura direta, interferindo nos componentes do rendimento e na produção da soja; e (b) o diferimento das pastagens previamente à semeadura direta da cultura de soja, em sucessão, possibilita reestruturação do solo afetado pelo pisoteio, não interferindo no desenvolvimento e produção da soja, e não justificando preparos que mobilizem o solo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização e histórico de uso da área

O experimento foi conduzido no município de São José do Cerrito, Estado de Santa Catarina, em área pertencente ao Centro de Educação Profissionalizante Caetano Costa – CEDUP – situada a 27°44'13"S de latitude, 50°32'19"W de longitude e altitude de 840m, localizado na região geopolítica Planalto Sul Catarinense. O relevo do solo na região é ondulado a forte ondulado, mas, especificamente na área experimental, o relevo é suave ondulado.

Conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999), o solo é classificado como Nitossolo Háplico, desenvolvido a partir de rochas basálticas. A sua textura é argilosa e suas características químicas são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características químicas do solo da área experimental em diferentes profundidades. São José Cerrito, 2004

Prof. ¹	pH H ₂ O	Ind. SMP	Al ⁽²⁾	H+Al	CO	P	K	Ca	Mg	Na
				cmol _c dm ⁻³	g kg ⁻¹	---	mg dm ⁻³ ---	-----	cmol _c dm ⁻³	-----
0 - 5	5,6	6,1	0,1	4,0	29	2,8	113	9,3	4,5	0,06
5 - 10	5,7	6,2	0,1	3,7	28	1,9	68	9,5	4,6	0,09
10 - 20	5,6	6,1	0,1	3,8	27	1,3	53	9,2	4,6	0,04

(1) O valor de cada profundidade representa a média de 25 amostras.

(2) Al = Alumínio; H+Al = Hidrogênio+Alumínio; CO = Carbono orgânico; P = Fósforo; K = Potássio; Ca = Cálcio; Mg = Magnésio; Na = Sódio.

O clima desta região é mesotérmico úmido, sem estação seca e verão fresco, tipo Cfb segundo a classificação de Köppen. Dados climatológicos da estação meteorológica localizada em Lages, a aproximadamente 35 km do local do experimento, indicam uma temperatura média anual variando entre 13,8 a 15,8º C e precipitação anual entre 1.360 a 1.600 mm em 123 a 140 dias de chuva. Em termos

normais podem ocorrer de 20 a 29 geadas por ano e a soma de horas frio (soma de horas com temperatura igual ou inferior a 7,2º C) varia entre 642 a 847 horas ao ano. A insolação anual varia entre 1.824 a 2.083 horas (BRAGA; GUELRLRE, 1999).

A área experimental foi utilizada nos últimos três anos com cultivo de pastagens anuais de inverno (essencialmente gramíneas) e a produção de milho para silagem no verão. Especificamente na safra de verão 2002/03, que antecedeu a implantação do experimento, a área foi utilizada com pastagem anual de verão (milheto).

3.2. Delineamento experimental e tratamentos

O experimento constituiu-se de 5 tratamentos na integração lavoura-pecuária com as variáveis: aveia no inverno com e sem pastejo; pastejo com e sem diferimento e, sistema de preparo semeadura direta, preparo reduzido e plantio convencional no verão, conforme Quadro 1.

O delineamento foi em blocos casualizados, com sorteio dirigido de dois tratamentos, APDF e ASSD, para que ficassem juntos por questão operacional.

Quadro 1. Descrição dos tratamentos e abreviaturas utilizadas

TRATAMENTO	CONDUÇÃO NO PERÍODO	
	INVERNO	VERÃO
APSD	Aveia pastejada	Dessecação e soja em SD ⁽¹⁾
APDF	Aveia pastejada / diferimento 30 dias	Dessecação e soja em SD
APPR	Aveia pastejada	Preparo reduzido e semeadura soja
APPC	Aveia pastejada	Preparo convencional e semeadura soja
ASSD	Aveia sem pastejo	Dessecação e soja em SD

SD – semeadura direta

O preparo reduzido do tratamento APPR foi realizado com escarificador de duplo eixo de hastes distanciadas 25 cm entre si e profundidade de trabalho regulada para 15 cm. O preparo convencional no tratamento APPC foi realizado com uma aração com arado de três discos regulado, para 20 cm de profundidade, seguido por

uma gradagem leve com grade de discos. A semeadura foi realizada com uma semeadora-adubadora de cinco linhas, própria para semeadura direta de soja, marca Vence Tudo.

Instalaram-se cinco repetições para cada tratamento, em parcelas de 5 x 10 m, com 10 m entre blocos para facilitar a movimentação das máquinas durante o preparo do solo (Figura 1).

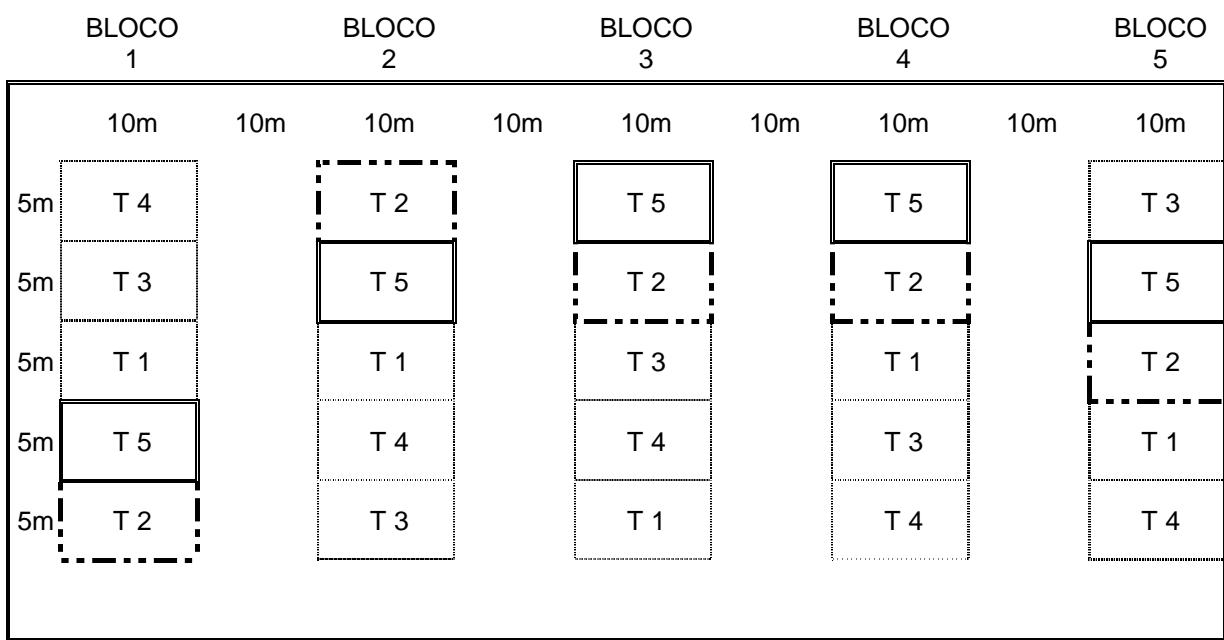


Figura 1. Croqui da condução do experimento no período de inverno. CEDUP, São José do Cerrito, SC.

3.3. Implantação e manejo das culturas e dos animais

A implantação da pastagem anual de inverno foi realizada após preparo convencional do solo (arado e grade), distribuição mecânica das sementes a lanço e posterior incorporação com grade de discos. Foram semeados 120 kg ha⁻¹ de aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) e constatou-se, após germinação, o enriquecimento da pastagem com a presença de azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) e ervilhaca (*Vicia sativa* L.) que germinaram espontaneamente devido ao seu uso em cultivos anteriores na mesma área. A pastagem foi adubada na base com 200 kg ha⁻¹ da

fórmula NPK 05-20-10 e em cobertura fez-se uma adubação com nitrogênio (N) na quantidade de 45 kg ha⁻¹ de N na forma de uréia.

A utilização da pastagem foi em sistema rotativo e fez parte do sistema de alimentação de um rebanho de 30 bovinos adultos da raça holandesa em fase de lactação, equivalendo ao total de 35 UA. A área total de seis hectares foi dividida em três piquetes de dois hectares cada, de maneira que a área destinada ao experimento ficou integralmente dentro de um desses piquetes, resultando numa carga animal instantânea, equivalente a 8,75 Mg ha⁻¹ (17,5 UA ha⁻¹). Os piquetes foram separados com cerca elétrica, assim como a parcela e as repetições, em que o tratamento de manejo foi sem pastejo.

O pastejo foi efetuado no período de junho a outubro, iniciando quando a pastagem atingiu altura de 25 cm. Os animais permaneceram em média 2,5 horas dia⁻¹ e por três dias consecutivos no piquete, o que foi suficiente para consumir a forragem produzida, retornando em média 30 dias após, ou seja, utilizou-se a pastagem por cinco sub-períodos de três dias cada, o que provocou intenso pisoteio pela alta carga animal utilizada.

A cultura teste de verão, representativa do sistema de integração lavoura-pecuária foi a soja (*Glycine max* (L.) Merril), variedade comercial Coendetec 205, de ciclo tardio, cujas sementes foram inoculadas com rizóbium específico e plantada em 10/12/2003 em linhas espaçadas de 50 cm visando uma população de 350.000 plantas ha⁻¹. Nos tratamentos em sistema semeadura direta, a pastagem remanescente foi dessecada com herbicida não seletivo de princípio ativo glyphosate na dosagem de 2,5 L ha⁻¹ (p.c.). Para adubação de manutenção aplicaram-se 400 kg ha⁻¹ da fórmula NPK 0-25-25.

No controle de ervas daninhas reincidentes, aplicou-se, em pós-emergência, 1,0 L ha⁻¹ (p.c.) de herbicida seletivo de princípio ativo imazethapyr, sendo que nas parcelas onde o tratamento foi preparo convencional do solo, tornou-se necessário realizar uma capina manual para eliminação de *Raphanus spp* (nabiça).

Para controle de pragas e doenças foram realizadas duas aplicações de inseticidas (princípio ativo monocrotofós na dosagem de 0,4 L ha⁻¹ do p.c.) e uma de fungicida (princípio ativo pyraclostrobin + epoxiconazole na dose de 0,5 L ha⁻¹ do p.c.) nas seguintes épocas: herbicida pós-emergente + inseticida e inseticida + fungicida próximo ao florescimento.

A colheita da soja para as avaliações ocorreu em 01/06/2004, totalizando 173 dias de ciclo.

3.4. Amostragens e avaliações

3.4.1. Na pastagem e cobertura residual

A avaliação da pastagem de inverno foi realizada com base na produção da massa de forragem. Para este fim, utilizaram-se gaiolas exclusoras, com dimensões de 0,50 x 0,50 m, totalizando 0,25 m² cada gaiola, distribuídas aleatoriamente em número de cinco repetições no experimento.

Executou-se um corte antes do primeiro pastejo e os demais coincidindo aproximadamente com o retorno dos bovinos na pastagem. Após o pastejo, as gaiolas eram novamente distribuídas sobre a área pastejada. Os cortes foram efetuados a aproximadamente oito centímetros de altura, simulando a altura da pastagem remanescente após o pastejo pelos bovinos. No tratamento sem pastejo foi realizado somente um corte, antes da semeadura da cultura de verão.

O material coletado foi embalado em sacos de papel e levado a secar em estufa com temperatura de 65º C, até estabilização do peso da massa, para determinação da matéria seca (MS), e o resultado transformado em kg ha⁻¹ de MS.

Antes da semeadura da cultura de verão, avaliou-se a percentagem de solo coberto, utilizando-se do método da transecção linear (SLONECKER e MOLDENHAUER, 1977; SHELTON et al., 1997). Amostraram-se duas linhas transversais em cada parcela, utilizando-se de uma linha com 10 m de comprimento, com marcadores a cada 10 cm, em que cada marcador corresponde a 1 %.

Na mesma ocasião foi coletada e quantificada a fitomassa residual presente na superfície do solo, utilizando-se um quadro de metal com 0,50 x 0,50 m e área útil de 0,25 m². A determinação da MS seguiu o mesmo procedimento utilizado para a pastagem. Essa fitomassa era formada essencialmente pelos resíduos da pastagem de inverno.

3.4.2. Análises físicas do solo

As amostras de solo para análise dos atributos físicos foram coletadas aos 124 e 125 dias após semeadura (13 e 14/04/2004), quando a soja estava entre estádio R5 (enchimento dos grãos) e início do R6 (enchimento das vagens), nas profundidades de 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm.

Em amostras com estrutura alterada foi determinada a estabilidade de agregados, densidade de partículas, granulometria, grau de floculação e as análises químicas. Em amostras com estrutura preservada foram determinadas densidade do solo, macroporosidade, microporosidade, porosidade total e curva de retenção de água.

As amostras foram coletadas entre as linhas de semeadura da soja para isolar o efeito do disco de corte da semeadora-adubadora. Também se tomou o cuidado de não amostrar diretamente abaixo da passagem do rodado dos pneus do trator.

Em amostras com estrutura preservada, coletadas em anéis metálicos medindo 50 mm de altura e 48,8 mm de diâmetro, determinou-se a microporosidade pelo método da mesa de tensão (EMBRAPA, 1997), aplicando-se sucção de 60 cm de coluna de água em amostras previamente saturadas. A saturação destes anéis determinou o volume de saturação. Depois de determinada a microporosidade, as amostras foram secas em estufa a 105º C, calculando-se a densidade do solo (Ds) para cada profundidade analisada, a partir da massa de partículas em relação ao volume total da amostra.

A porosidade total (PT) foi calculada pela razão entre Ds e Dp ,dada pela equação:

$$PT = 1 - \left(\frac{Ds}{Dp} \right) \quad (\text{Eq. 1})$$

A macroporosidade foi calculada pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade.

Em amostras de terra fina seca ao ar (TFSA), conforme EMBRAPA (1997), determinou-se a densidade de partículas (Dp) pelo método do balão volumétrico, aferido para 50 ml.

A distribuição do diâmetro e a estabilidade dos agregados estáveis em água foram determinadas pelo método do peneiramento úmido (KEMPER e CHEPIL, 1965), expressos através do diâmetro médio ponderado (DMP) e do diâmetro médio geométrico (DMG), calculado pelas equações:

$$DMP = \sum_{i=1}^n \left(\frac{AGRi}{TAGR} \times ci \right) \quad (\text{EQ. 2})$$

$$DMG = EXP \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{AGRi \times Ln \times ci}{TAGR} \right) \right] \quad (\text{EQ. 3})$$

onde $AGRi$ representa a massa de agregados em cada classe (g), $TAGRi$ é a massa de agregados da amostra inicial (g), ci é o diâmetro médio da classe de agregados i (mm) e Ln é o logaritmo neperiano.

A distribuição do tamanho de partículas (granulometria) foi determinada pelo método da pipeta, conforme descrito por EMBRAPA (1997), no qual usou-se dispersante químico (NaOH 1N) e água, obtendo-se os teores de argila total (AT) e natural (AN), respectivamente. Nas amostras tratadas com NaOH 1N, obteve-se a fração areia por peneiramento e a fração silte por diferença entre argila total e areia. Com os dados obtidos, calculou-se o grau de floculação (GF) dado pela razão:

$$GF = \frac{(AT - AN)}{AT} \times 100 \quad (\text{EQ. 4})$$

A curva característica de retenção de água foi determinada a partir de amostras com estrutura preservada, coletadas em anéis metálicos com 25 mm de altura e 48,8 mm de diâmetro, utilizando-se do aparelho extrator de Richards. Determinou-se a umidade volumétrica (θ_v) retida após as tensões de 6, 10, 33, 50, 100, 300, 500, e 1.500 kPa.

As curvas de retenção de água foram ajustadas segundo o modelo matemático proposto por Van Genuchten (1980), que descreve a relação funcional entre o teor de água a base de volume ($\theta \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) e o potencial matricial (ψ_m , kPa), conforme a expressão:

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + (\alpha |\psi_m|)^n \right]^m} \quad (\text{EQ. 5})$$

em que θ_s e θ_r são respectivamente os teores de água na saturação e residual do solo (em $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$) e α (em kPa^{-1}), m e n são parâmetros empíricos do modelo. Os

dados foram ajustados com uso do programa Soil Water Retention Curve (SWRC, v.3.00) de Dourado Neto et al. (2001).

A resistência do solo ao penetrômetro foi avaliada nas trincheiras abertas para coleta das amostras de solo das análises físico-químicas e utilizou-se de um penetrômetro de bolso da marca “Soiltest”, com escala de 0 a 5 kg cm⁻² e diâmetro da ponta com 6,35 mm. O valor relatado refere-se à média de seis medidas, efetuadas lateralmente, para cada profundidade em cada parcela. A umidade gravimétrica do solo na coleta dos dados variou de 0,22 a 0,32 kg kg⁻¹.

3.4.3. Análises químicas do solo

As amostras de solo para as análises químicas foram coletadas na mesma época das análises físicas, aos 124 e 125 dias após semeadura. A composição química do solo foi avaliada pelos procedimentos de rotina para avaliação da fertilidade, determinando-se pH em água, pH em CaCl₂, pH SMP, carbono orgânico, P_{DISPONÍVEL}, K, Ca, Mg e Al trocável (TEDESCO et al., 1995).

Os métodos utilizados nestas determinações foram potenciometria para pH, oxidação úmida com dicromato de potássio para carbono, extração por Mehlich 1 para P e K, com determinações por espectrofometria e fotometria de chama, respectivamente; extração com KCl 1 mol L⁻¹ para os demais cátions, com determinação por espectrofotometria de absorção atômica (Ca e Mg) e titulometria (Al).

Com os dados obtidos calculou-se a capacidade de troca de cátions (CTC) e o valor da acidez potencial (H + Al), esta de acordo com Kaminski et al. (2002) através da seguinte equação:

$$\log(H + Al) = 3,020 - 0,371SMP \quad (\text{Eq. 6})$$

3.4.4. Avaliações na soja

A resposta da cultura de soja foi avaliada no período da maturação fisiológica dos grãos, determinando-se a produtividade de grãos e os componentes

do rendimento: população de plantas (“stand”), altura das plantas, número de vagens por planta, número de grãos por vagem e a massa de 1.000 grãos.

O “stand” foi avaliado em cinco linhas escolhidas ao acaso, com 2 m lineares cada, representando 5 m² por parcela. No ponto central destas linhas mediuse a altura de cinco plantas, totalizando 25 plantas por parcela. Destas mesmas linhas, cortaram-se as plantas de 1 m linear central (representando 2,5 m² por parcela) para determinar a produção (massa ajustada para 12% de umidade), número de vagens por planta e número de grãos por vagem por contagem direta e a massa de 1.000 grãos, esta determinada conforme Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 1992).

3.5. Análise estatística

Inicialmente efetuou-se o teste de Shapiro-Wilk para verificar a normalidade dos resultados e os procedimentos adotados, após este teste, são relatados na análise de resultados. O efeito dos tratamentos foi analisado pelo teste F da análise de variância e a comparação entre médias pelo teste Duncan a 5 % de significância. Também se efetuou a análise de correlação de Pearson entre os diferentes atributos do solo e da planta analisados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Produção de forragem e cobertura residual do solo

A produção de forragem da aveia preta foi de 1.300 kg de massa seca por hectare, aos 59 dias após semeadura, DAS, (Figura 1), momento em que se deu a entrada dos animais na pastagem. A inflexão da curva no período entre 59 e 153 dias após a semeadura deveu-se à ocorrência de geadas contínuas e de alta intensidade, que prejudicaram o seu crescimento.

Os cortes de avaliação da produção de forragem foram realizados próximo aos dias em que a área era liberada para pastoreio. Portanto, os valores de massa de forragem representam a quantidade ofertada para os animais em cada período, com exceção da última avaliação, efetuada antes do manejo do solo e semeadura, realizada em 08/12/03.

Nos períodos de menor oferta de forragem o solo ficou praticamente sem cobertura após o pastoreio em função da alta carga animal, uma vez que a oferta de forragem diminuiu e a carga animal permaneceu sempre a mesma ($8,75 \text{ Mg ha}^{-1}$) em todo o período de utilização.

Do ponto de vista produtivo e de conservação do solo, a integração lavoura-pecuária no sistema semeadura direta (SSD) apresenta efeito sinérgico, devendo ser avaliada e entendida na perspectiva da sustentabilidade agropecuária. Efetivamente, o SSD representa uma profunda alteração no manejo do solo e da água para agricultura, uma vez que, em relação ao preparo convencional, ele altera conceitos nos planos ambiental, social, tecnológico, econômico, gerencial e cultural (ROMANO, 2005).

O SSD é baseado no aporte constante de resíduos culturais à superfície do solo e, desta forma, a integração lavoura-pecuária deve partir da premissa de que, após uso da pastagem, deverá sobrar resíduo vegetal suficiente para cobrir o solo e manter o sistema de semeadura direta.

As forrageiras de inverno mais cultivadas na região sul do Brasil e utilizadas em sistemas de rotação com culturas anuais são o azevém e a aveia preta, em sistema solteiro ou consorciado. A aveia preta normalmente é preferida em sistemas integrados de produção lavoura-pecuária, em virtude da precocidade e menor ciclo, o que favorece a implantação de culturas de verão no cedo (MORAES, 1994).

Essas plantas são excelentes como coberturas de solo na sucessão de culturas, antecedendo lavouras de milho, feijão e soja (SANTOS et al., 2001), destacando-se pela elevada produção de fitomassa e decomposição relativamente lenta da mesma, o que permite uma cobertura de solo mais duradoura em sistema de semeadura direta.

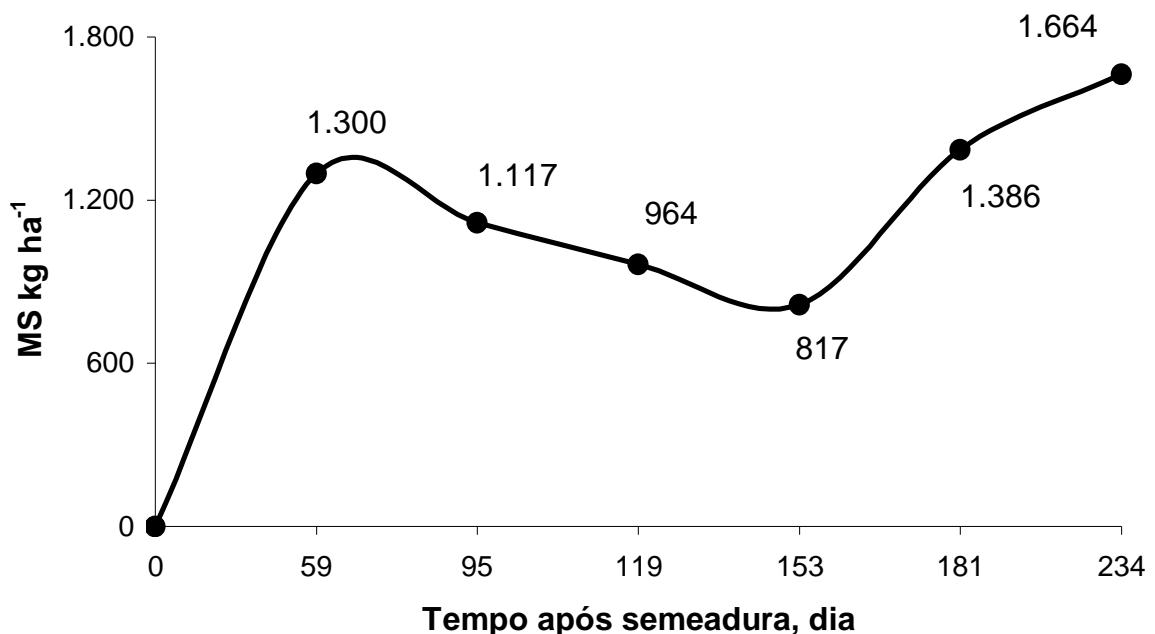


Figura 2. Produção de massa da pastagem com aveia + azevém + ervilhaca em pastejo rotativo com bovinos de leite, CEDUP, 2003.

Os animais deveriam entrar na pastagem somente quando houvesse uma disponibilidade de aproximadamente 1.500 kg ha⁻¹ de massa seca (MS), ou seja, aproximadamente 900 g de forragem verde por metro quadrado, deixando-se uma resteva de 7 cm acima do solo (FLOSS, 2002). Sob esse aspecto, constata-se, pela Figura 2, que, no presente estudo, o pastoreio se deu abaixo dessa condição mínima em todo o período acompanhado.

Com relação à produção acumulada de massa de forragem, na área com pastejo atingiu 7,25 Mg de MS ha^{-1} na soma das diferentes épocas de corte, enquanto que a produção na área não pastejada foi de 4,40 Mg de MS ha^{-1} . No Apêndice 6, esta produção é mais detalhada.

Na literatura são encontrados diversos valores de produção de MS pela aveia, dependendo da condição como é manejada com relação à adubação, pastejo, sistema de preparo do solo, dentre outras variáveis, mas sempre com resposta positiva quando recebe manejo adequado. Produções de MS variando entre 2,9 a 7,1 Mg ha^{-1} para aveia preta são relatados por Rangel et al. (2002), Teixeira e Carvalho (2003) e Lang et al. (2004).

A manutenção de uma altura mínima das plantas que possibilite a recuperação rápida da pastagem parece ser uma premissa básica do manejo de pastejo para obter maior produção de massa de forragem. No entanto, Cassol (2003), testando quatro alturas de plantas 10, 20, 30 e 40 cm, de uma pastagem de aveia + azevém, através do controle de carga animal, não observou diferença na produção acumulada de MS em dois anos de avaliação para as diferentes alturas. A produção variou de 6,6 a 7,3 Mg ha^{-1} no primeiro ano, e entre 5,8 a 7,5 Mg ha^{-1} no segundo ano, valores semelhantes aos encontrados no presente estudo, em que não se controlou a altura da pastagem.

Um dos fatores que influencia na compactação do solo é a presença de cobertura vegetal que amortece a pressão exercida pelo pisoteio ou máquinas agrícolas sobre a superfície do solo. Esta pressão chega a 3,5 kg cm^{-2} pelo pisoteio de um bovino de 400 kg de peso vivo e entre 0,7 a 1,3 kg cm^{-2} pelo contato de um trator de média potência (70 a 80 CV) com rodado de pneus (ROCHA, 1991).

Neste estudo, a cobertura residual sobre a qual foi semeada a soja em sucessão, apresentou grande diferença entre os sistemas de preparo do solo (Tabela 2). Naqueles de semeadura direta, em que a cobertura não foi incorporada ao solo, foi de 0,9; 1,5 e 4,4 Mg de MS ha^{-1} para aveia pastejada com imediata semeadura direta (APSD), aveia pastejada/diferida/SD (APDF) e aveia sem pastejo/SD (ASSD), respectivamente. O tratamento com escarificador manteve pequena quantidade (433 kg MS ha^{-1}) de cobertura em superfície.

A produção de cobertura residual obtida neste trabalho está muito abaixo do aporte anual de palha necessário para sustentação do sistema de semeadura

direta, estimado entre 9 a 12 Mg de MS ha^{-1} (AMADO, 2000; FLOSS, 2002). No entanto, como o sistema é de integração, parte substancial da exigência de palha pelo SSD é suprida pela cultura de verão sucessora, sugerindo que, com pastejo animal e mediante práticas adequadas de adubação e manejo, a pastagem de inverno poderá efetivamente contribuir com produção de palha para a sustentabilidade do SSD.

O potencial produtivo de MS pela aveia é demonstrado em ensaios de competição de genótipos. Em Passo Fundo, RS, todos os genótipos disponíveis de aveia preta foram avaliados em experimentos conduzidos sem adubação, implantados através de semeadura direta, com corte realizado na floração plena, obtendo-se rendimentos médios de 26 Mg ha^{-1} de matéria verde (MV) e 6,6 Mg ha^{-1} de massa seca. A amplitude de variação nos anos foi de 20 a 36 Mg ha^{-1} de MV, enquanto a variação da MS foi de 5,2 a 9,3 Mg ha^{-1} (FLOSS, 2002).

Tabela 2. Produção de massa aérea residual seca e cobertura do solo pelos resíduos de aveia após preparo do solo, antes da semeadura da soja, CEDUP / S.J. Cerrito, 2003

Data do corte	Blocos					Média
	A	B	C	D	E	
Massa aérea (kg MS ha^{-1})						
ASSD	4.050	3.022	3.285	6.158	5.483	4.399
APDF	1.183	1.027	1.726	1.679	1.693	1.461
APSD	1.690	660	920	587	1.108	993
APPR ⁽¹⁾	646	187	312	476	543	433
APPC ⁽²⁾	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Cobertura do solo (%)						
ASSD	100	100	100	100	100	100
APDF	93	92	90	90	89	90
APSD	83	84	94	85	81	85
APPR ⁽¹⁾	39	20	22	37	33	30
APPC ⁽²⁾	0	0	0	0	0	0

(1) Resíduos parcialmente incorporados pelo escarificador.

(2) Resíduos totalmente incorporados pela aração + gradagem.

Além disso, conforme FLOSS (2000), é fundamental que as culturas de inverno, além de formarem grandes quantidades de matéria seca, devem apresentar

alta relação C/N, permitindo maior período de cobertura do solo, aspectos em que a aveia se destaca em relação a outras espécies de inverno. Na aveia, a relação C/N pode variar de 17 a 20 no estádio vegetativo, de 41 a 50 na floração plena, e superior a 70 na colheita, o que confere lenta decomposição da palhada.

Além do aspecto quantitativo da cobertura do solo pelo resíduo vegetal, deve-se considerar a eficiência do mesmo no controle da erosão, cujo indicativo pode ser obtido do percentual de solo coberto pelos resíduos culturais. Quanto maior o percentual de cobertura do solo, maior será a dissipação da energia cinética das gotas de chuva sobre o solo, este considerado como fator primário da erosão hídrica. A cobertura do solo apresenta potencial para dissipar em até 100% a energia erosiva das gotas de chuva.

Na Tabela 2, observa-se que, mesmo em baixa quantidade de massa da cobertura residual da pastagem, o percentual de cobertura do solo é elevado, exemplificado no manejo APSD, onde, com apenas $0,9 \text{ Mg ha}^{-1}$ de resíduos, obteve-se uma cobertura de 85%, o que provavelmente, resultou em boa eficiência no controle da erosão hídrica pela diminuição do impacto das gotas de chuva diretamente sobre o solo.

A massa e o percentual da cobertura residual dos sistemas de manejo sem revolvimento do solo (ASSD, APSD e APDF) não se correlacionaram com a produção de soja obtida neste trabalho (Apêndice 7).

4.2 Porosidade, densidade e resistência do solo ao penetrômetro

O teste de Shapiro-Wilk, aplicado para avaliar a normalidade dos dados indicou que os resultados das propriedades físicas analisadas apresentaram uma distribuição normal (Tabela 3). Conforme Coimbra et al. (2004), uma distribuição é considerada normal quando $w > 0,95$.

A dispersão dos dados estimada pelo coeficiente de variação (CV), mostra uma boa precisão do experimento para PT, MI, Ds e θ_g , e muito baixa para MA e RP (Tabela 3). Conforme Pimentel-Gomes (2002), quanto menor o CV maior a precisão, sendo que um CV menor que 10% é considerado baixo, 10-20% médio, 20-30% alto e acima de 30% muito alto.

Conforme Genro Júnior et al. (2004) e Silva et al. (2004), a RP apresenta alta variabilidade temporal e espacial sendo muito influenciada pelas condições de manejo e à intensidade de tráfego de máquinas agrícolas e é dependente da umidade do solo, o que pode explicar o elevado CV.

Tabela 3. Resumo da análise de variância (ANOVA) para propriedades físicas do solo em três profundidades e sistemas de manejo, 124 dias após semeadura de soja, em um Nitossolo Háplico, 2004

Fonte de variação	Propriedades físicas ¹					
	PT	MI	MA	RP	Ds	θ_g
Probabilidade P > F						
Blocos	* (2)	ns	ns	ns	*	*
Manejo	ns	ns	ns	ns	**	ns
Profundidade	**	**	**	**	**	**
Manejo*Prof.	ns	ns	ns	*	ns	ns
CV (%)	8,4	8,7	61,1	50,5	9,5	9,2
Normalidade (w) ⁽³⁾	0,98	0,96	0,95	0,96	0,99	0,96

(1) PT = porosidade total; MI = microporosidade; MA = macroporosidade; Ds = densidade do solo; RP = resistência ao penetrômetro; θ_g = umidade gravimétrica. (2) **, * e ns = estatisticamente significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente. (3) Teste Shapiro-Wilk.

A Ds apresentou efeito significativo em função das variáveis blocos, manejo e profundidade. A umidade gravimétrica (θ_g) apresentou efeito significativo em função dos blocos e profundidade. Aliás, também se constatou que a profundidade apresenta efeito significativo sobre todas as propriedades físicas

avaliadas e a interação manejo*profundidade apresentou diferença estatística apenas para RP na avaliação realizada aos 124 dias após semeadura da soja (Tabela 3).

Veiga (2005) estudou o comportamento da PT, MA, MI e Ds em quatro estratos de profundidade do solo em experimento com três sistemas de preparo (preparo convencional, preparo reduzido e semeadura direta), todos sem pastejo animal no inverno. Constatou efeito significativo da profundidade e dos sistemas de preparo nessas propriedades físicas, após nove anos de condução.

O diagnóstico do estado de compactação do solo pode ser expresso indiretamente por propriedades físicas como a densidade e porosidade, e por medidas realizadas diretamente no solo, como a resistência mecânica à penetração, que integra principalmente os efeitos da densidade e umidade nas condições físicas do solo necessárias para o crescimento das raízes (GOEDERT et al., 2002; TORMENA et al., 2002).

O volume e distribuição do diâmetro dos poros são resultantes da textura, mineralogia, estrutura, matéria orgânica e do manejo dado ao solo. O comportamento da porosidade comumente relatado na literatura indica que a semeadura direta aumenta a microporosidade (Mi) e reduz a macroporosidade (Ma) e a porosidade total (PT) e que podem ser agravados pelo pisoteio animal (STONE e SILVEIRA, 2001; ALBUQUERQUE et al., 2001; TORMENA et al., 2002; REICHERT et al., 2003; STRECK et al., 2004; BERTOL et al., 2004).

A PT variou de 0,48 a 0,58 $m^3 m^{-3}$ e foi superior na camada de 0 a 5 cm em relação às demais profundidades, em todos os tratamentos; entre as camadas de profundidade 5-10 cm e 10-20 cm, não se verificou diferença (Tabela 4), exceção ao tratamento APDF, em que diferiu entre estas.

A MI variou de 0,35 a 0,44 $m^3 m^{-3}$, enquanto que a MA variou de 0,04 a 0,22 $m^3 m^{-3}$. A MA apresentou comportamento semelhante ao da porosidade total. O comportamento da MI é de ordem inversa à MA e PT, ou seja, foi menor na camada superficial, aumentando em profundidade.

A ausência de diferença entre os sistemas de manejo para PT, MA e MI pode ser explicada, conforme Cassol (2003), porque os possíveis efeitos negativos do pisoteio animal na porosidade são rapidamente revertidos pela cultura em sucessão, considerando que a coleta foi realizada aos 124 DAS da soja. Além disso,

a porosidade é influenciada pelos ciclos de umedecimento e secagem e consolidação natural do solo.

Tabela 4. Propriedades físicas de um Nitossolo Háplico nos sistemas de manejo, aos 124 DAS de soja. São José do Cerrito, 2004

Prof. (cm)	Sistemas de manejo ⁽¹⁾					Média
	APSD	APDF	APPR	APPC	ASSD	
Porosidade total - $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$						
0 – 5	0,56 A ⁽²⁾	0,56 A	0,56 A	0,58 A	0,55 A	0,56 A
5 – 10	0,49 B	0,52 B	0,53 AB	0,53 B	0,51 AB	0,51 B
10 – 20	0,48 B	0,48 C	0,48 B	0,51 B	0,48 B	0,49 C
Média	0,51 b	0,52 ab	0,52 ab	0,54 a	0,51 b	
Microporosidade - $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$						
0 – 5	0,37 B	0,36 C	0,35 B	0,36 B	0,36 B	0,36 C
5 – 10	0,42 A	0,39 B	0,40 A	0,40 A	0,40 A	0,40 B
10 – 20	0,44 A	0,42 A	0,42 A	0,42 A	0,42 A	0,42 A
Média	0,41	0,39	0,39	0,39	0,39	
Macroporosidade - $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$						
0 – 5	0,19 A	0,19 A	0,21 A	0,22 A	0,19 A	0,20 A
5 – 10	0,07 B	0,12 B	0,13 B	0,13 B	0,11 AB	0,11 B
10 – 20	0,04 B	0,06 C	0,06 C	0,10 B	0,06 B	0,06 C
Média	0,10 b	0,12 ab	0,13 ab	0,15 a	0,12 ab	
Umidade gravimétrica (θ_g) – Mg m^{-3}						
0 – 5	0,25 B	0,25 B	0,26 C	0,23 B	0,24 B	0,25 C
5 – 10	0,27 A	0,27 A	0,28 B	0,26 A	0,26 A	0,27 B
10 – 20	0,28 A	0,28 A	0,29 A	0,27 A	0,27 A	0,28 A
Média	0,26 ab	0,26 ab	0,28 a	0,25 b	0,25 b	
Densidade do solo (kg dm^{-3})						
0 – 5	1,11 B	1,15 B	1,17 B	1,18 C	1,20 B	1,16 C
5 – 10	1,23 A b	1,26 AB ab	1,35 A a	1,30 B ab	1,32 AB ab	1,29 B
10 – 20	1,27 A	1,39 A	1,38 A	1,38 A	1,40 A	1,36 A
Média	1,20 b	1,27 a	1,30 a	1,29 a	1,31 a	

(1) APSD=aveia pastejada/semeadura direta; APDF=aveia pastejada/diferimento/semeadura direta; APPR=aveia pastejada/preparo reduzido; APPC=aveia pastejada/preparo convencional; ASSD=aveia sem pastejo/semeadura direta. (2) Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste Duncan a 5%.

A MA é responsável pela rápida drenagem da água superficial e consequente renovação do oxigênio na zona de raízes das plantas, e, quando inferior ao nível crítico, compromete a absorção de água e de nutrientes pelas plantas (MELLO, 2003; SILVA et al., 2005). Os microporos são responsáveis pelo efetivo armazenamento de água e, quando em excesso, associados com alta precipitação e baixa evapotranspiração, podem determinar drenagem deficiente e ambiente redutor, prejudicando o desenvolvimento das plantas (VEIGA, 2005).

Para Taylor e Ashcroft (1972), também discutido em Albuquerque et al. (2001) e por Reynolds et al. (2002), o volume de macroporos deve ser superior a $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Conforme Mello (2003), o volume de macroporos deve equivaler a um terço da porosidade total. Na camada superficial, o volume de macroporos atende esses valores críticos; na camada de 5-10 cm está muito próximo do limite, com exceção do sistema APSD que já se encontra abaixo deste limite e, na camada inferior, de 10-20 cm, o volume de macroporos está abaixo do nível crítico para todos os tratamentos.

Analizado sob o enfoque da porosidade, os resultados evidenciam que o solo apresenta compactação a partir de 10 cm de profundidade, o que provavelmente deve-se ao histórico de manejo da área, tendo em vista que o pisoteio não afetou estas propriedades do solo em superfície, indicando que, em profundidade, o sistema radicular pode ser afetado pela oxigenação inadequada.

A umidade gravimétrica (θ_g) do solo no momento da avaliação da resistência ao penetrômetro variou entre $0,23$ a $0,29 \text{ Mg m}^{-3}$, observados na camada de 0-5 cm do manejo APPC e na camada de 10-20 cm do manejo APPR, respectivamente. A θ_g não foi estatisticamente diferente entre os sistemas de manejo. No entanto, como a probabilidade ($Pr > F$) estimada pela ANOVA foi de 0,066 para tratamentos, efetuou-se comparação das médias de profundidade de cada manejo e constatou-se maior θ_g nos manejos APSD, APPR e APPC em relação aos manejos APDF e ASSD (Tabela 4).

Em profundidade, a θ_g aumentou em todos os sistemas de manejo, da camada superficial para a mais profunda, refletindo uma situação normalmente encontrada a campo, em razão da maior perda de umidade na camada superficial por evaporação e fluxo pelas plantas. Além disso, a maior massa de água em profundidade relaciona-se com o maior volume de microporos encontrado nestas

camadas, que possuem maior capacidade de retenção de água do que os macroporos.

A Ds variou de 1,11 a 1,40 kg dm⁻³, aumentando em profundidade para todos os tratamentos (Tabela 4). Analisando-se o comportamento da Ds em cada camada de solo, observa-se que na camada superficial e na profundidade de 10 a 20 cm não ocorreu diferença na Ds entre tratamentos, o que se verificou apenas na profundidade intermediária de 5-10 cm, em que o tratamento com preparo convencional (APPC) apresentou menor Ds em relação aos demais.

No sistema de manejo APPC a Ds foi menor do que nos demais sistemas na média das profundidades. Isso ocorreu porque o revolvimento reduz a Ds, mesmo tendo transcorrido 124 DAS da soja.

De acordo com Arshad et al. (1996), o valor da Ds considerado restritivo ao crescimento radicular, para solos argilosos, tal qual o solo deste estudo, é entre 1,4 a 1,6 Mg m⁻³. Os resultados encontrados até a profundidade de 10 cm estão abaixo deste nível crítico, no entanto, a partir desta profundidade e com exceção ao tratamento APPC, os valores da Ds estão próximos do nível considerado crítico.

É possível que a Ds encontrada não seja crítica ao desenvolvimento radicular, pois conforme Reichert et al. (2003), as propriedades e atributos do solo atuam de forma conjunta e complexa sobre os fatores de crescimento.

Menores Ds são relatadas em sistemas de manejo em que ocorre mobilização do solo em relação àqueles de semeadura direta (DE MARIA et al., 1999), no entanto, a produtividade pode não ser prejudicada, devido a maior continuidade dos poros, característica que afeta a aeração do solo, a infiltração de água e a penetração de raízes (Reichert et al., 2003).

A ausência de diferença estatística verificada neste estudo para Ds, entre sistemas de manejo para uma mesma profundidade, pode ser atribuída a reconsolidação natural do solo que ocorre depois de determinado tempo da mobilização (SILVA et al., 2005) e também, provavelmente, ao pastoreio rotativo e a massa de forragem, que evitaram efeito deletério sobre a Ds nas áreas pastejadas.

No trabalho de Silva et al. (2005), em Argissolo Vermelho cultivado a mais de 30 anos, os autores não verificaram diferença entre sistemas de semeadura direta, preparo convencional e reduzido, e a Ds, mesmo sem uso com pecuária, foi mais elevada e variou entre 1,35 a 1,67 kg dm⁻³. Os autores não consideraram estes

valores restritivos ao desenvolvimento radicular, ressalte-se, no entanto, tratar-se de um solo com granulometria diferente ao do presente trabalho.

Estudo conduzido por Albuquerque et al. (2001) objetivando mensurar os efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas de um Nitossolo Vermelho, constatou maior Ds apenas na camada superficial de 0 a 5 cm no sistema de semeadura direta em relação ao preparo convencional. No entanto, na média das quatro camadas de profundidade, a Ds do sistema semeadura direta foi estatisticamente inferior ao preparo convencional.

Cassol (2003), ao avaliar o efeito de diferentes alturas da pastagem (10, 20, 30 e 40 cm) controlada por meio da carga animal, nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho Distroférrico típico, textura muito argilosa ($> 600 \text{ g kg}^{-1}$ de argila), não constatou diferença na Ds entre os tratamentos, apenas uma tendência de aumento onde o pastoreio foi mais intenso e ainda assim restrito a camada superficial. Ao comparar a Ds em quatro momentos distintos, antes do pastejo, após 104 dias de pastejo, após o ciclo da soja e após 120 dias de novo pastejo, o autor verificou que a tendência de compactação superficial pelo pastoreio foi rapidamente revertida pela cultura em sucessão, ao cessar a aplicação de carga na superfície.

Portanto, sistemas de integração lavoura-pecuária podem provocar aumento da densidade do solo até próximo de valores considerados limitantes, o que pode ser contornado mediante adoção de práticas de manejo da pastagem que controlem a carga animal e o momento do pastejo, principalmente em relação à umidade do solo.

Tabela 5. Resistência de um Nitossolo Háplico ao penetrômetro nos sistemas de manejo, 124 DAS de soja. São José do Cerrito, 2004

PROF. cm	Sistemas de manejo ⁽¹⁾					Média
	APPC	APPR	APSD	APDF	ASSD	
Resistência ao penetrômetro (kg cm^{-2})						
0 – 5	0,98 B	0,65 C	1,52 B	1,08 C	1,41 C	1,13 C
5 – 10	3,05 A	2,78 B	2,98 A	2,31 B	3,17 B	2,86 B
10 – 20	3,24 A	3,99 A	3,08 A	3,71 A	3,78 A	3,56 A
Média	2,42	2,47	2,53	2,37	2,79	

(1) APSD=aveia pastejada/semeadura direta; APDF=aveia pastejada/diferimento/semeadura direta; APPR=aveia pastejada/preparo reduzido; APPC=aveia pastejada/preparo convencional; ASSD=aveia sem pastejo/semeadura direta. (2) Valores seguidos da mesma letra maiúscula nas colunas não diferem entre si pelo Teste Duncan a 5%.

A resistência do solo ao penetrômetro (RP) variou de 0,6 a 4,0 kg cm⁻². Não foi influenciada pelos tratamentos de manejo, mas a interação manejo e profundidade apresentou efeito significativo. De maneira geral, a RP aumentou em profundidade para todos os tratamentos (Tabela 5).

O tratamento sem pastejo (ASSD) reflete a condição do solo pré-existente à implantação do experimento, e quando comparado dentro de cada camada com os demais manejos, em que houve pastejo, não se observou diferença estatística. Esse comportamento pode ser explicado em parte pela variabilidade espacial e temporal desta propriedade física, comprovado pelo CV que foi de 50%.

Esse CV elevado deveu-se principalmente a variabilidade na camada superficial. Analisando estatisticamente o comportamento da RP por camada de solo (dados não mostrados), observou-se um CV de 61, 25 e 23% para a profundidade de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, respectivamente.

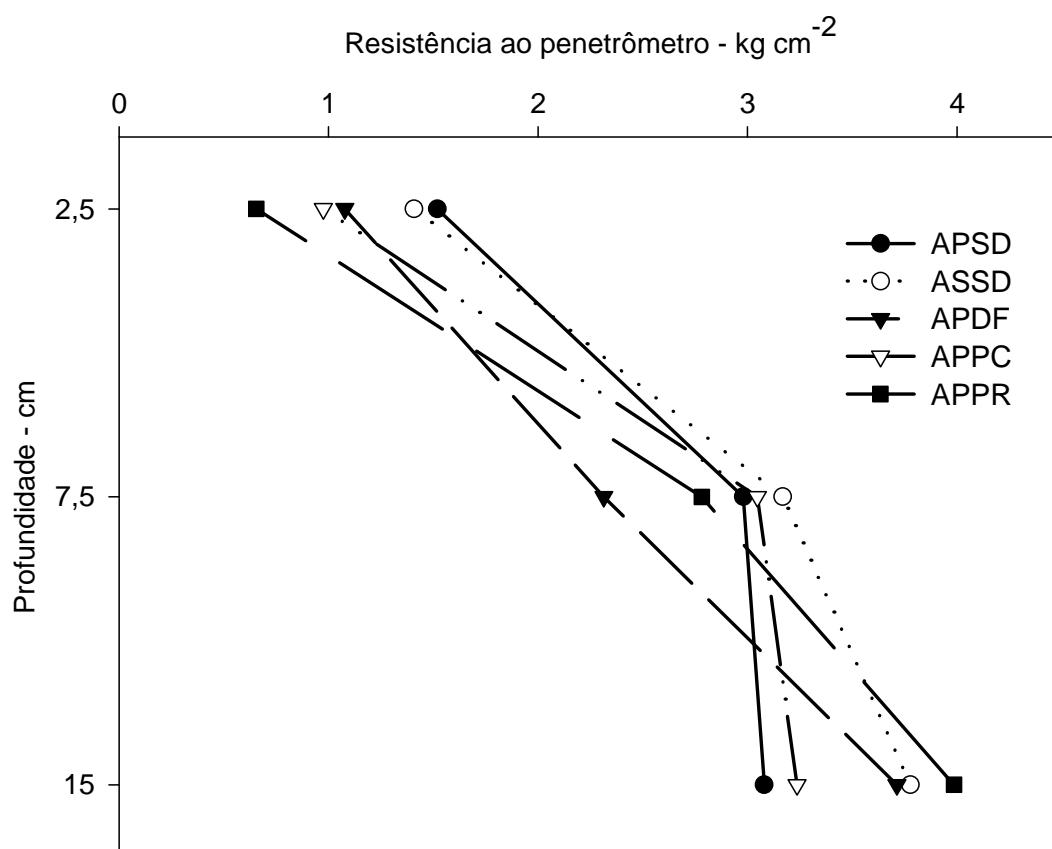


Figura 3. Resistência ao penetrômetro aos 124 DAS de soja em área com e sem pastejo no inverno, nas profundidades de 0-5cm, 5-10cm e 10-20cm, em um Nitossolo Háplico, S. J. Cerrito, 2004.

A RP foi menor na camada de 0-5 cm e relacionou-se diretamente com a PT, MA e Ds que apresentaram comportamento idêntico. Quando se compara a camada superficial em relação às demais, observa-se uma diferença pronunciada (Figura 3).

O comportamento da RP, aumentando em profundidade em todos os sistemas de manejo (Figura 3), está associado, provavelmente, ao histórico de uso e compactação prévia do solo. Em muitos trabalhos, normalmente o solo sob sistema de semeadura direta apresenta maior RP quando comparado com sistemas de preparo convencional e preparo mínimo ou reduzido, principalmente nas camadas superficiais do solo. Esse comportamento ocorre tanto em sistemas exclusivos para produção de grãos, como aqueles em que se integra lavoura com pecuária (ALBUQUERQUE et al., 2001; BERTOL et al., 2001; TORMENA et al., 2002; VEIGA, 2005; SILVA et al., 2005). Nos trabalhos destes autores, verifica-se diminuição da resistência ao penetrômetro em profundidade no solo para o sistema de semeadura direta.

Segundo o fabricante do penetrômetro utilizado neste trabalho (penetrômetro de bolso, marca Soiltest), valores na escala de resistência acima de 2 kg cm⁻² são restritivos ao crescimento das raízes, indicando compactação do solo. Neste estudo, a partir de 5 cm de profundidade, a resistência ao penetrômetro foi superior ao nível crítico apontado pelo fabricante. Na literatura cita-se o valor da resistência ao penetrômetro considerada restritiva ao desenvolvimento das raízes como sendo de 2 MPa (Reynolds et al., 2002).

A RP geralmente aumenta com o incremento da densidade do solo e redução na umidade, apresentando variabilidade espacial e temporal por influência das condições de manejo dado ao solo (GENRO JÚNIOR, et al., 2004; SILVA et al., 2003). Comparativamente, a umidade do solo é o fator de maior variabilidade temporal e, desta forma, torna-se necessário associar a RP com a umidade encontrada no momento da amostragem, expressa na forma de umidade volumétrica (θ_v m³ m⁻³) ou umidade gravimétrica (θ_g Mg m⁻³).

A relação entre RP e θ_g deste estudo foi positiva, uma vez que a resistência do solo aumentou com o aumento da umidade (Figura 4a). Provavelmente, isto se deve a maior influência da densidade do solo (Ds), que melhor se correlacionou com a RP (Figura 4b), resultado reforçado pelos valores de

macroporosidade, que se situaram abaixo do nível crítico a partir de 10 cm de profundidade (Tabela 4).

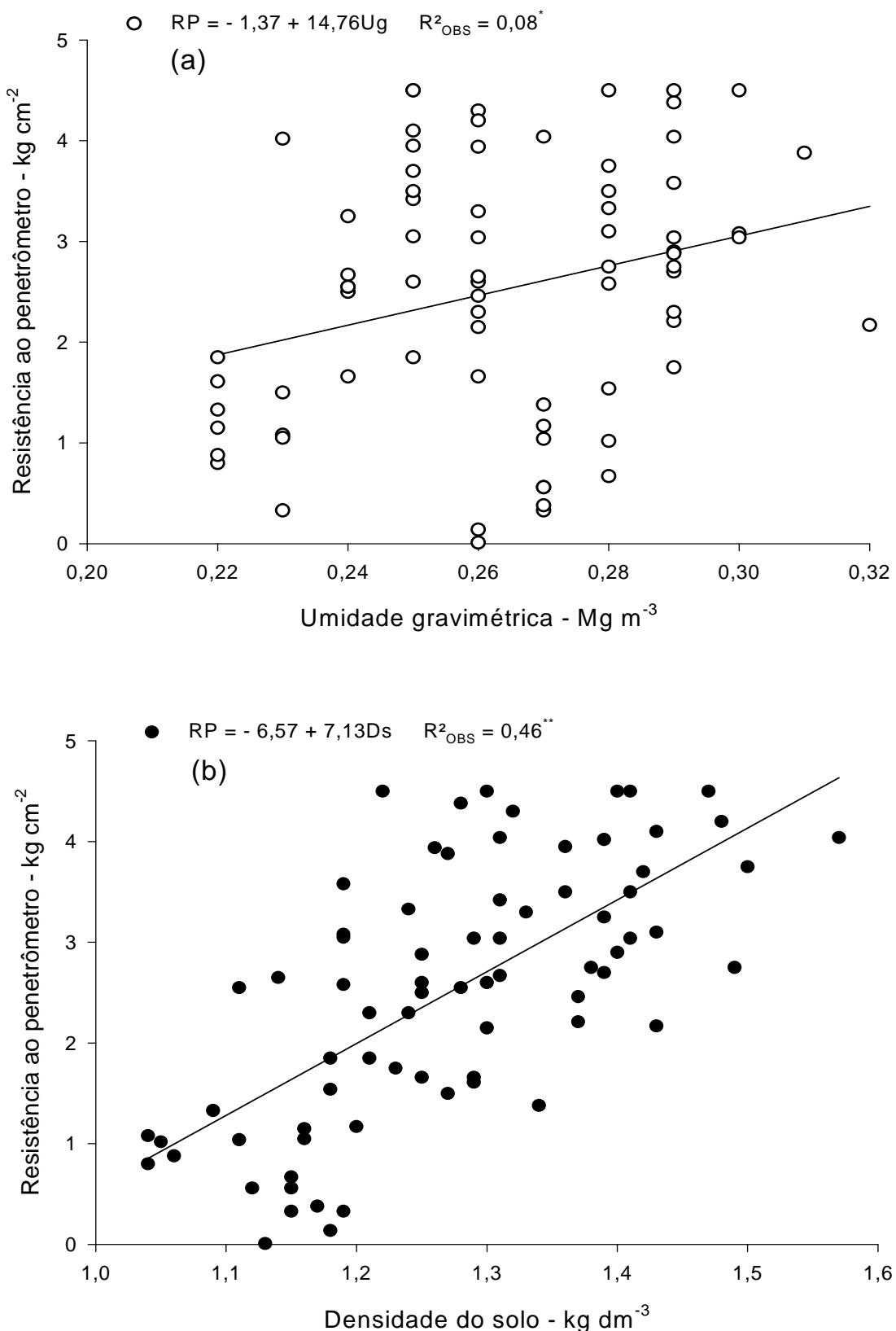


Figura 4. Relação entre (a) RP e umidade gravimétrica e entre (b) RP e densidade do solo num Nitossolo Háplico. São José do Cerrito, 2004.

4.3 Textura, grau de floculação e estabilidade de agregados do solo

Com base nas médias encontradas para o teor de argila total, areia e silte, de 460, 164 e 376 g kg⁻¹, respectivamente, (resultados detalhados no Apêndice 2), a textura deste solo é classificada como argilosa, conforme o triângulo textural proposto por Lemos e Santos (2002).

A textura do solo depende dos fatores de formação, especialmente do material de origem, tempo e relevo, o que a leva ser uma característica inata do solo e, de certa forma, estável numa escala de tempo humana. A textura afeta várias propriedades do solo de importância agrícola como a capacidade de troca de cátions, drenagem e capacidade de retenção de água.

O efeito do manejo sobre as propriedades físicas do solo depende, dentre outros fatores, da textura e mineralogia do solo e, conforme Costa et al. (2003), geralmente, as práticas de manejo afetam mais aos solos arenosos do que aos argilosos (sic).

A análise de variância (Tabela 6) mostrou que somente houve efeito significativo dos blocos para o teor de CO e da profundidade para AN, GF e CO. Como se observa, os sistemas de manejo não afetaram estas propriedades do solo; especificamente para DMP, a ANOVA indicou uma tendência de este ser afetado pelo manejo dado ao solo ($P > F 0,066$).

Tabela 6. Resumo da análise de variância para propriedades físico-químicas relacionadas com a textura, estabilidade de agregados e CO em profundidade e nos sistemas de manejo, 124 DAS de soja, num Nitossolo Háplico, 2004.

Fonte de variação	Propriedades físico-químicas ⁽¹⁾					
	AT	AN	GF	DMP	DMG	CO
Bloco	ns ⁽²⁾	ns	ns	ns	ns	**
Manejo	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Profundidade	ns	**	*	ns	ns	**
Manejo*Prof	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	6,4	13,1	14,0	10,0	23,8	7,4
Normalidade (w) ⁽³⁾	0.98	0.89	0.88	0.94	0.80	0.91

(1) AR = Areia; SI = Silte; AT = Argila total; AN = Argila natural; GF = Grau de floculação; DMP= Diâmetro médio ponderado; DMG = Diâmetro médio geométrico; CO = Carbono orgânico.

(2) **, *, ns = Significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente. (3) Teste Shapiro-Wilk.

Conforme a classificação de Pimentel-Gomes (2002), o CV foi baixo para AT e CO, médio para AN, GF e DMP e alto para DMG (Tabela 6). Quanto ao teste de Shapiro-Wilk para verificar normalidade das amostras e conforme Coimbra et al. (2004), os dados de AT e DMP são os que mais se aproximam da curva de normalidade, e dados amostrais de AN, GF, CO e principalmente DMG, estão abaixo do índice $w = 0,95$, considerado limite. No entanto, o índice é aceitável em função da elevada população amostrada ($n = 75$) para cada variável.

O teor de argila total do solo variou entre o mínimo de 441 g kg^{-1} até o máximo de 479 g kg^{-1} (Tabela 7), não diferindo estatisticamente para nenhuma das fontes de variação consideradas.

O teor de AN apresentou diferença estatística em profundidade, aumentando da camada superficial para a mais profunda. O valor obtido oscilou entre 215 a 269 g kg^{-1} (Tabela 7). Os dois sistemas de manejo antagônicos, APPC e ASSD, apresentaram comportamento semelhante em profundidade, e, como o manejo não interferiu estatisticamente, é possível inferir que o teor de AN encontrado reflete histórico de uso da área anterior à instalação do experimento. No entanto, na profundidade de 5-10 cm, os tratamentos APDF e ASSD apresentaram o maior teor, enquanto o tratamento APSD foi o de menor teor de AN.

A argila dispersa em água (também denominada argila natural, AN) é a fração da argila do solo que se dispersa espontaneamente em água e, portanto a que possui, potencialmente, maior mobilidade, implicando na obstrução dos poros e, por consequência, relaciona-se diretamente com o decréscimo da infiltração (ALBUQUERQUE et al., 2003; AZEVEDO e BONUMÁ, 2003).

Por outro lado, mesmo que em tese se busque o menor teor de argila dispersa, menor ou maior valor podem não ter relevância em termos do estado físico do solo, se analisados isoladamente. Sua importância reside em que quando relacionados com o teor de argila total, constituem o índice denominado grau de flocação (GF).

O grau de flocação expressa a relação entre AN e a AT, informando sobre o grau de estabilidade dos micro-agregados e, quanto maior este índice, mais floculada estará a argila e, consequentemente, haverá maior percolação da água e

menor probabilidade de perder argila e matéria orgânica por eluição e nutrientes por erosão.

O GF foi de 46% na média geral de todas as observações e variou entre 43 a 54% (Tabela 7). Estatisticamente não foi afetado pelos sistemas de manejo, embora em tese, o sistema ASSD, sem mobilização do solo e manutenção total dos resíduos na área, consequentemente com maior adição de matéria orgânica (MO), deveria apresentar um maior grau de floculação, por ser a MO um dos principais agentes agregantes do solo. Provavelmente, o período que durou o experimento (um ano) não foi suficiente para expressar essa potencialidade.

Tabela 7. Teores de argila e grau de floculação em três profundidades e nos sistemas de manejo, 124 DAS de soja, num Nitossolo Háplico, 2004

Prof. (cm)	Sistema de manejo ⁽¹⁾					Média
	APSD	APDF	APPR	APPC	ASSD	
Argila total (g kg ⁻¹)						
0 – 5	464	456 B ⁽²⁾	446	441	471	455
5 – 10	461	468 A	457	454	473	463
10 – 20	459	470 A	459	446	479	462
Média	461	465	454	447	474	
Argila natural (g kg ⁻¹)						
0 – 5	215 B	239 A	251 A	227 B	234 B	233 B
5 – 10	225 A bc	262 A a	243 A bc	235 AB bc	254 AB ab	244 B
10 – 20	258 A	266 A	257 A	260 A	269 A	262 A
Média	232	256	250	241	252	
Grau de floculação (%)						
0 – 5	54 A	48 A	44 A	48 A	51 A a	49 A
5 – 10	51 A a	44 A b	47 A b	48 A ab	46 A b	47 A
10 – 20	44 B	43 A	44 A	42 B	44 A	43 B
Média	49	45	45	46	47	

(1) APSD=aveia pastejada/semeadura direta; APDF=aveia pastejada/diferimento/semeadura direta; APPR=aveia pastejada/preparo reduzido; APPC=aveia pastejada/preparo convencional; ASSD=aveia sem pastejo/semeadura direta. (2) Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na coluna e minúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste Duncan a 5%.

Ao se comparar o GF em profundidade, para cada tratamento, verifica-se que diminuiu da superfície para a maior profundidade, e que os tratamentos que apresentaram diferença foram os sistemas de manejo APSD e APPC, que, em tese, são os de maior impacto ao solo. Desta forma, pastejo por longo período e preparo convencional possuem efeito semelhante no solo para este parâmetro de qualidade, provavelmente pelo fato do primeiro adicionar menos resíduos e sofrer maior pisoteio e, o segundo, pelo fato do revolvimento acelerar a mineralização da matéria orgânica.

Conforme dados mostrados no Apêndice 9, o GF correlacionou-se positivamente com o carbono orgânico ($r = 0,35^{**}$), mas não se correlacionou com o pH_{AG} e a soma de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$. Na análise de correlação evidencia-se efeito indireto da dispersão de argila nas propriedades do solo influenciadas pela desagregação, pois o GF correlacionou-se negativamente com a resistência ao penetrômetro, densidade do solo e microporosidade e positivamente com porosidade total e macroporosidade.

Costa et al. (2003) não encontrou diferença no grau de floculação comparando semeadura direta e preparo convencional, num Latossolo Bruno alumínico, na avaliação de 21 anos após implantação do experimento, atribuindo a ausência de diferença a menor acidez do solo, que propicia maior atividade microbiana e alterações na qualidade da matéria orgânica.

Com a diminuição da acidez, seria esperada redução do grau de floculação devido a diminuição na atividade de Al^{+3} e H^+ na solução do solo, pois estes são os principais agentes floculantes em solos ácidos (ALBUQUERQUE et al, 2003). Estes autores avaliaram o efeito de doses de calcário e de fósforo no GF de um Latossolo Bruno argiloso e constataram diminuição do grau de floculação de 69 % para 58 % entre solo sem calagem e com adição de 9 Mg ha^{-1} de calcário dolomítico, que, no entanto, não comprometeu a estabilidade estrutural do solo, avaliada pelo DMP.

Num Argissolo Vermelho, de textura média, SILVA et al. (2005) encontraram baixo grau de floculação da argila, entre 21 e 48 %, independentemente das camadas e sistemas de preparo avaliados (preparo convencional, reduzido, semeadura direta e campo nativo). Por outro lado,

encontraram correlação positiva e significativa a 5 % para GF com carbono orgânico e microporosidade e correlação negativa com densidade do solo.

A estabilidade da estrutura do solo pode ser analisada por dois indicativos: o diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP) e o diâmetro médio geométrico (DMG). O valor do DMP aumenta conforme a percentagem de agregados grandes retidos nas peneiras aumenta, enquanto o DMG é uma estimativa do tamanho dos agregados baseado em ajuste logarítmico, procurando normalizar a distribuição de tamanho em solos com classes muito distintas (SILVA, 2003).

O diâmetro médio ponderado (DMP) variou de 4,7 a 5,5 mm. Como a ANOVA mostrou uma tendência para efeito do manejo sobre o DMP, se procurou identificar qual (is) manejo(s) provocaram essa tendência. Conforme mostrado na Tabela 8, até 10 cm de profundidade não houve efeito dos sistemas de manejo. No entanto, na camada de 10-20 cm, o DMP do tratamento APPC foi menor em relação aos demais manejos, refletindo-se na média das profundidades entre tratamentos. É provável que a ação dos implementos do preparo convencional diminuiu o DMP.

O diâmetro médio geométrico (DMG) variou entre 3,3 mm (manejo APPC) a 4,9 mm (manejo APPR). Mesmo não havendo efeito do manejo sobre o DMP pela análise estatística, procedeu-se da mesma maneira que o DMP, o que possibilitou identificar diferença entre os manejos na camada de 10-20 cm, onde igualmente, o manejo com preparo convencional apresentou o menor DMG, refletindo-se também, na média da profundidade de cada manejo.

O comportamento do DMP e do DMG em preparo convencional pode ser atribuído a ação agregadora das raízes, provavelmente em maior densidade até a profundidade de 5 cm, uma vez que as camadas inferiores mostraram-se mais compactadas quando avaliadas através da resistência ao penetrômetro e confirmado pela menor macroporosidade. Igualmente, esse efeito também é devido a ação cimentante da matéria orgânica do solo, em maior quantidade na camada superficial.

Os agregados do solo são formados e se estabilizam por ação de processos físicos, químicos e biológicos que, em geral, agem simultaneamente, mas também podem atuar de forma isolada. Nestes processos se envolvem substâncias como a argila, sílica coloidal, compostos orgânicos, metais polivalentes, carbonato de cálcio, óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, exsudatos de plantas, substâncias orgânicas provenientes da ação de microorganismos e mecanismos como a ação

física de microrganismos e das raízes das plantas. Em síntese, para a formação do agregado é necessário que os colóides do solo se encontrem floculados e que todos os componentes do agregado sejam posteriormente estabilizados por algum agente cimentante (HILLEL, 1980).

Os diferentes sistemas de manejo exercem seus efeitos na formação e estabilização dos agregados de forma diferenciada e, dependendo do tipo de cultura e preparo do solo, os efeitos serão maiores ou menores em termos de desestruturação ou desagregação (SILVA e MIELNICZUK, 1997). Estes autores atribuíram a maior formação e estabilidade de agregados por gramíneas perenes à alta densidade de raízes, às periódicas renovações do sistema radicular e à uniforme distribuição dos exsudatos no solo que estimulam a atividade microbiana.

Tabela 8. Propriedades físicas relacionadas com a estabilidade de agregados e carbono orgânico do solo em três profundidades e nos sistemas de manejo, 124 DAS de soja, num Nitossolo Háplico, 2004

Prof. (cm)	Sistema de manejo ⁽¹⁾					Média
	APSD	APDF	APPR	APPC	ASSD	
Diâmetro médio ponderado (mm)						
0 – 5	5,2 A ⁽²⁾	5,4 A	5,2 A	5,3 A	5,4 A	5,3
5 – 10	5,4 A	5,5 A	5,3 A	4,7 B	5,5 A	5,3
10 – 20	5,1 A ab	5,2 A a	5,0 A a	4,7 B b	5,5 A a	5,1
Média	5,2 ab	5,4 a	5,1 ab	4,9 b	5,5 a	
Diâmetro médio geométrico (mm)						
0 – 5	4,0 A a	4,4 A a	3,9 A a	4,2 A a	4,5 A a	4,2
5 – 10	4,3 A a	4,3 A a	4,9 A a	3,3 B a	4,5 A a	4,3
10 – 20	4,0 A ab	4,1 A ab	3,8 A ab	3,4 B b	4,5 A a	4,0
Média	4,1 ab	4,3 ab	4,2 ab	3,7 b	4,5 a	
Carbono orgânico (g kg ⁻¹)						
0 – 5	28 A	29 A	29 A	29 A	28 A	29 A
5 – 10	29 A a	28 AB ab	29 A ab	28 A ab	27 A b	28 A
10 – 20	26 B	26 B	27 A	27 B	26 B	27 B
Média	28	28	28	28	27	

(1) APSD=aveia pastejada/semeadura direta; APDF=aveia pastejada/diferimento/semeadura direta; APPR=aveia pastejada/preparo reduzido; APPC=aveia pastejada/preparo convencional; ASSD=aveia sem pastejo/semeadura direta. (2) Médias seguidas da mesma letra maiúscula nas colunas e minúscula nas linhas, não diferem entre si pelo Teste Duncan a 5%.

A agregação é a principal propriedade física do solo afetada pela matéria orgânica, a qual indiretamente afetará as demais propriedades físicas como a densidade, porosidade, aeração, capacidade de retenção e infiltração de água, entre outras, fundamentais à capacidade produtiva do solo.

Em solos sob cultivo, normalmente os agregados maiores são fracionados em unidades menores, sendo estas mais estáveis e pouco afetadas por práticas de manejo (CARPENEDO e MIELNICZUK, 1990). Quanto ao tamanho, embora havendo controvérsias, os agregados são classificados em microagregados e macroagregados, com tamanho menor e maior que 250 μm , respectivamente (TISDALL & OADES, 1982).

A análise de correlação de Pearson a 5% de probabilidade de erro que consta do Apêndice 9, indicou que tanto DMP como DMG se correlacionaram com carbono orgânico e densidade de partícula, mas ao nível de significância considerado, somente o DMG apresentou correlação com o teor de $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$. O pH do solo não se correlacionou com a estabilidade avaliada pelo DMP e DMG.

Correlação significativa entre carbono orgânico e estabilidade e tamanho de agregados foi encontrada por Paladini e Mielenzuk (1991), Roth et al. (1991) e Wohlenberg et al. (2004), indicando que compostos orgânicos atuam na formação e estabilidade dos agregados, além de servirem de fonte de energia para os microrganismos, importantes agentes de agregação.

Trabalhando em um solo Nitossolo Vermelho semelhante ao deste estudo, Veiga (2005) observou que, no décimo ano da instalação do experimento, a semeadura direta (SD) apresentou maior DMG somente na camada de 0-5 cm em relação ao preparo convencional (PC), sendo que este apresentou maior DMG nas camadas de 5-10 e 12-17 cm; o tratamento com preparo reduzido (escarificador) apresentou valores intermediários. Tal comportamento foi atribuído ao maior conteúdo de matéria orgânica na camada superficial e à menor mobilização do solo do manejo em SD em relação ao PC.

Estudando a relação entre adição de calcário e fósforo com a estabilidade de agregados num Latossolo Bruno altamente tamponado, ALBUQUERQUE et al (2003) verificaram que a calagem não interferiu no DMP, concluindo que isso se deveu ao efeito cimentante da matéria orgânica e ao estímulo da calagem à atividade biológica do solo. Costa et al. (2003) chegaram a conclusão semelhante ao comparar o DMG entre sistema semeadura direta (SD) e convencional (PC) também em

Latossolo Bruno após 21 anos de implantação do experimento. O maior DMG em SD (3,7 mm) em relação ao PC (1,6 mm) na camada de 0 a 5 cm foi atribuído ao não revolvimento do solo e acúmulo de resíduos culturais no sistema de semeadura direta..

Em trabalho desenvolvido com integração lavoura-pecuária, Bertol et al. (2000) avaliaram o efeito da oferta de forragem de capim elefante-anão cv. Mott nas propriedades físicas de um Cambissolo álico de textura argilosa, e constataram que, o aumento na oferta de forragem (equivalente à diminuição da pressão de pastejo), diminuiu a densidade com consequente aumento da porosidade e do DMP. Concluíram ainda, as propriedades físicas do solo foram fortemente afetadas pelas altas pressões de pastejo.

O teor de carbono orgânico oscilou entre 26 a 29 g kg⁻¹ (Tabela 8). Não diferiu entre sistemas de manejo, mas apresentou efeito de blocos (indicando eficiência do delineamento aplicado) e da profundidade (Tabela 6). A comparação de médias pelo teste Duncan a 5% de probabilidade (Tabela 8) indicou, com exceção ao tratamento APPR, diminuição do teor de CO a partir de 10 cm de profundidade.

Uma hipótese provável para o menor teor de CO na camada de 5-10 cm, no tratamento sem pisoteio (ASSD), apesar da quantidade de massa ser significativamente maior em superfície, é que o pisoteio animal, nos demais tratamentos, provoca a senescência e incorporação parcial de plantas e resíduos culturais, apressando sua decomposição, o que, entretanto, necessita de comprovação.

Costa et al. (2004), de certa forma comprovam essa hipótese. Avaliando o estoque de carbono orgânico total (COT) e particulado (COP), após 21 anos de instalação de um experimento num Latossolo Bruno alumínico em Guarapuava, PR, encontraram acúmulo diferencial de 3,2 Mg ha⁻¹ de COT e 1,2 Mg ha⁻¹ de COP na camada de 0-20 cm do solo em semeadura direta em relação ao plantio convencional. Atribuíram tal diferença a maior adição anual de C por meio dos resíduos vegetais e à manutenção dos resíduos em superfície na SD. A taxa de decomposição microbiana dos resíduos em superfície é menor quando comparada com a incorporada.

Por outro lado, a ausência de diferença entre sistemas de manejo pode ser devida, também, ao relativamente curto período deste experimento (um ano agrícola), que não possibilitou acréscimo significativo de resíduos culturais.

4.4 Retenção de água pelo solo

As curvas de retenção ajustadas a partir do modelo de Van Genuchten (1980), e apresentadas por profundidade para cada manejo, são apresentadas na Figura 5. Os parâmetros empíricos do modelo constam do Apêndice 3. A umidade volumétrica ajustada pela equação de Van Genuchten (1980) consta do Apêndice 4.

Na profundidade de 0-5 cm (Figura 5.a), as curvas de retenção dos sistemas de manejo foram semelhantes, o mesmo ocorrendo de certa maneira na profundidade intermediária (Figura 5.b). Na camada mais profunda (Figura 5.c), as curvas entre manejos se distanciam e aumenta a umidade retida no solo em relação às camadas acima desta, tanto para baixa como em alta succção. A maior diferença se verifica entre os manejos APSD e APPC, principalmente nas maiores sucções.

A esse respeito, Marques et al (2004), estudando os atributos físicos e hídricos de um Latossolo Amarelo sob sistema agroflorestal, comentam que a retenção de água demonstra que o solo estudado tem capacidade de reter elevado teor de umidade, mesmo quando submetido a elevadas sucções, sugerindo, nestes potenciais, uma baixa disponibilidade para as plantas.

Por afetar praticamente todos os processos fisiológicos da planta, a água é componente primário do seu desenvolvimento. Desta forma torna-se essencial conhecer o fluxo da água do solo para a planta que, dentre outros fatores, depende da disponibilidade hídrica do solo, a qual, por sua vez, pode ser afetada pelas práticas de manejo a que um sistema de produção submete o solo.

A principal consequência do pisoteio animal excessivo na qualidade física do solo é a compactação caracterizada principalmente pelo aumento da sua densidade, afetando indiretamente outras propriedades físicas correlatas, como a resistência a penetração, infiltração e retenção de água (LEÃO et al., 2004).

Conforme Cichota e Van Lier (2004), a determinação da relação entre umidade do solo (θ) e o seu potencial matricial (ψ_m), denominada de curva característica de retenção da água no solo ou simplesmente “curva de retenção”, é parte fundamental da caracterização das propriedades hidráulicas do mesmo. De posse da curva de retenção é possível determinar o ψ_m da água no solo a partir da umidade ou vice-versa.

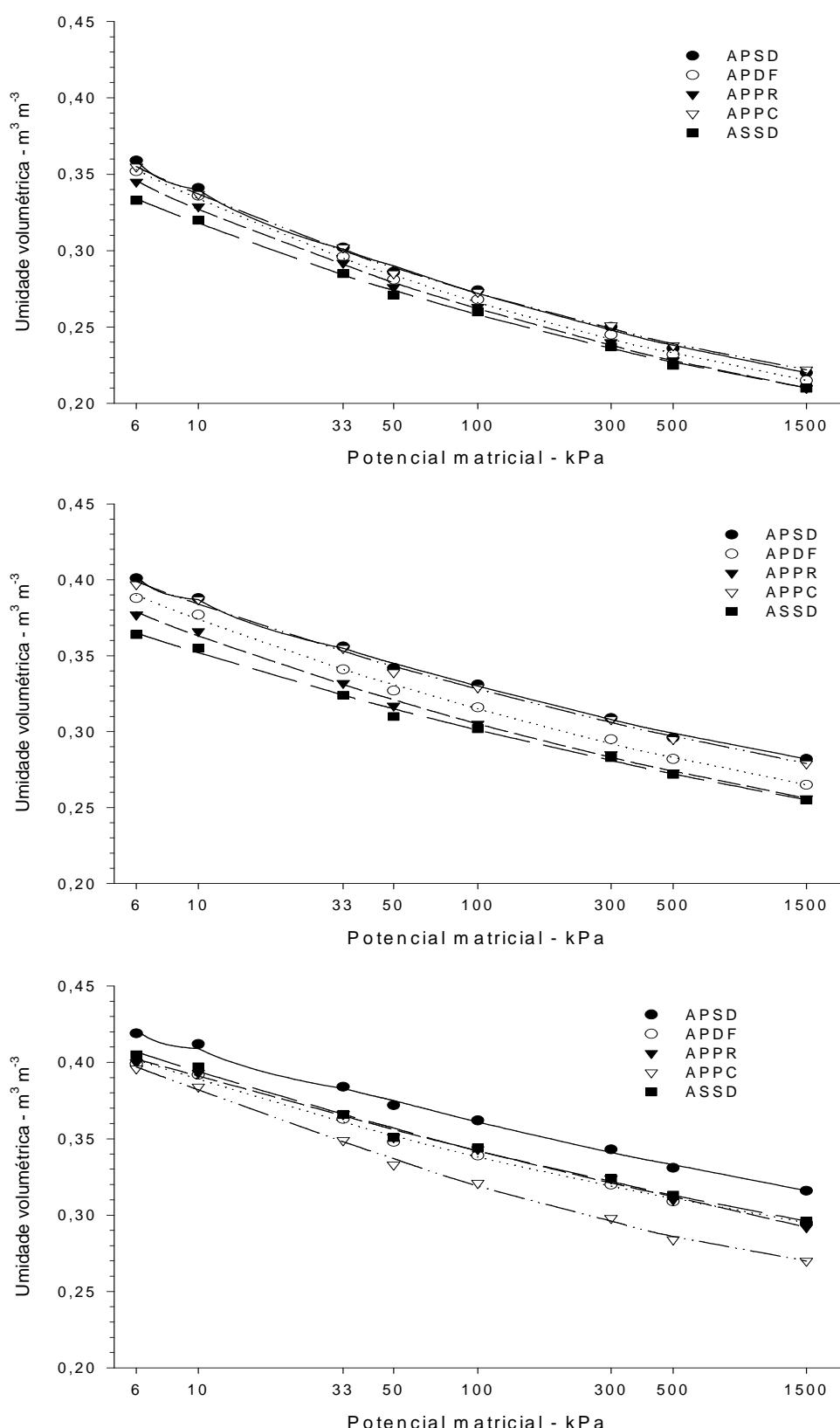


Figura 5. Curva característica de retenção da água no solo para cinco sistemas de manejo nas profundidades de 0 - 5 cm (a), 5 - 10 cm (b) e 10 a 20 cm (c), de um solo Nitossolo Háplico, 2004.

Provavelmente, o comportamento das curvas é reflexo do volume de meso e microporos em cada camada do solo analisada, em que pese a maior porosidade total encontrar-se na camada de 0-5 cm para todos os sistemas de manejo (Tabela 4). Conforme já discutido anteriormente no item 4.2, não se verificou diferença na micro e macroporosidade entre manejos para a mesma profundidade, mas quando comparadas as profundidades, todos os manejos apresentaram comportamento semelhante ou seja, aumento da microporosidade e diminuição da macroporosidade com a profundidade.

Calculando-se, com base nos dados da Tabela 4, a relação média entre micro e macroporos, para as profundidades analisadas, obteve-se proporção de 1,8; 3,6 e 7,0 para a camada superficial, intermediária e de maior profundidade, respectivamente. Portanto, somente na camada intermediária do solo a relação microporos : macroporos aproxima-se da proporção 3:1 considerada ideal em termos genéricos.

Segundo Hillel, 1998, os poros grandes perdem a água retida por capilaridade a potenciais elevados, enquanto que os poros pequenos retêm água até potenciais baixos. Esta é adsorvida no sistema coloidal, ocasionando alta tensão caso existam em maior proporção, situação provavelmente existente neste estudo a partir de 5 cm de profundidade, acentuadamente na camada de 10-20 cm.

Conforme Reichardt e Timm (2004), em condições de alto teor de água, a curva de retenção é função da densidade do solo e da porosidade, devido aos fenômenos capilares, importantes nessa condição de umidade e, na condição de baixos teores de água, o ψ_m pouco depende da capilaridade. Como consequência, densidade e porosidade serão menos importantes. Desta forma, textura do solo, estado de compactação e agregação, dentre outras condições, origina a “curva característica” de cada solo, que será única enquanto tal condição não for alterada.

Os sistemas de manejo e o pisoteio animal não afetaram a curva de retenção de água até 10 cm de profundidade (Figura 5), o que poderia ser esperado principalmente na camada de 0-5 cm em função do pisoteio. A diferença observada em preparo convencional na camada de 10-20 cm, deve-se a pequeno aumento da macroporosidade por ação da aração profunda. As diferenças entre profundidades refletem o histórico de manejo da área em questão e adensamento natural.

O conhecimento atual da dinâmica da água no solo recomenda que a umidade na capacidade de campo (θ_{CC}) seja determinada *in situ* (OTTONI FILHO,

2003; REICHARDT e TIMM, 2004). No entanto, neste estudo, o teor de água disponível (AD) foi calculado considerando a θ_{CC} como sendo aquela obtida na tensão de -10 kPa e a θ_{PMP} na tensão de -1.500 kPa. Desta forma, a AD é dada pela diferença da umidade volumétrica entre as tensões de -10 e -1.500 kPa (DEXTER & BIRD, 2001; REYNOLDS, et al., 2002; MARQUES et al., 2004).

A umidade volumétrica obtida no aparelho extrator de Richards e a comparação de médias pelo teste Duncan ($P > 0,05$) são apresentadas no Apêndice 5, de cujos valores construiu-se a Tabela 10.

Tabela 9. Resumo da análise de variância para água disponível em profundidade e nos sistemas de manejo, 124 DAS de soja, num Nitossolo Háplico, 2004.

Fonte de variação	Pr > F	Fonte de variação	Pr > F
Bloco	0,03	Manejo*Profundidade	0,05
Manejo	0,10	CV %	10,6
Profundidade	< 0,0001	Normalidade (w)	0,97

. (2) Teste de Shapiro-wilk para normalidade.

A análise variância mostra que o teor de AD foi afetado pelos blocos (ao nível de 5%), profundidade (menor que 1%) e pela interação manejo com profundidade (ao nível de 5%). O CV e teste de normalidade mostram-se em valores adequados.

Conforme a Tabela 10, o conteúdo de água disponível variou de 0,097 a 0,121 $m^3 m^{-3}$ e não apresentou diferença entre sistemas de manejo até a profundidade de 10 cm. Na camada de solo de 10-20 cm de profundidade, o manejo com preparo convencional (APPC) apresentou maior conteúdo de água disponível do que os demais, o que se refletiu na média das profundidades analisadas para cada sistema de manejo.

Em profundidade, o teor de AD diminuiu da superfície para as camadas mais profundas, com exceção do manejo APPC, em que não se diferenciou entre profundidades, o que provavelmente deve-se ao revolvimento do solo. Esse comportamento da AD está associado com a macroporosidade (vide Tabela 4) cujo volume também diminuiu da superfície para as camadas inferiores de solo em todos os sistemas de manejo, e cujo conteúdo de água, é prontamente disponível.

Ao contrário, a microporosidade diminuiu da superfície para as camadas mais profundas do solo, a qual possui maior capacidade de retenção de água. Provavelmente, em profundidade ocorra volume significativo de criptoporos (não dimensionado neste estudo), que retém a água mais fortemente e cuja succção seria possível com tensão menor que -1.500 kPa.

Tabela 10. Água disponível ($AD = \theta_{CC} - \theta_{PMP}$) em três profundidades e nos sistemas de manejo em solo Nitossolo Háplico, 2004

PROF. cm	Sistema de manejo ⁽¹⁾					MÉDIA
	APPC	APPR	APSD	APDF	ASSD	
Água disponível ($m^3 m^{-3}$)						
0 – 5	0,116 A ⁽²⁾	0,120 A	0,121 A	0,121 A	0,110 A	0,118 A
5 – 10	0,108 A	0,110 B	0,106 B	0,111 B	0,099 B	0,107 B
10 - 20	0,114 A a	0,101 B b	0,097 B b	0,098 B b	0,100 A b	0,102 C
MÉDIA	0,113 a	0,110 ab	0,108 ab	0,110 ab	0,103 b	

- (1) APSD=aveia pastejada/semeadura direta; APDF=aveia pastejada/diferimento/semeadura direta; APPR=aveia pastejada/preparo reduzido; APPC=aveia pastejada/preparo convencional; ASSD=aveia sem pastejo/semeadura direta.
 (2) Médias seguidas por letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem pelo teste Duncan ($P < 0,05$).

Contudo, todos os valores encontrados para AD estão fora do limite crítico que se situa na faixa de 0,15 a 0,25 $m^3 m^{-3}$ citado por Reynolds et al, 2002. Esta situação indica que as plantas poderão sofrer problemas por déficit hídrico e terão de competir com a matriz do solo pela água, além de, provavelmente, ocorrer problemas relacionados com a respiração das raízes pela baixa macroporosidade.

NO Quadro 2 observamos que o teor de AD se relacionou positivamente com macroporosidade e carbono orgânico e negativamente com umidade volumétrica e microporosidade, e não se correlacionou com diâmetro médio ponderado e com a produtividade obtida. Provavelmente, este comportamento deve-se à compactação do solo, principalmente nas camadas mais profundas do solo, onde este se apresenta bem acima do nível crítico.

Albuquerque et al. (2005), avaliando o efeito do preparo do solo (PC e PD) e formas de aplicação de calcário nas características de um Latossolo Bruno alumínico argiloso, encontraram resultado totalmente diverso. Trabalhando com dados da camada de 0-10 cm, os autores encontraram relação positiva da MI, CO e

DMP com o teor de AD e relação negativa desta com a macroporosidade, atribuindo tal comportamento ao aumento do CO e da umidade volumétrica que influenciaram a água disponível.

Quadro 2. Coeficiente de correlação de Pearson e probabilidade para AD, θ_v , MA, MI, DMP e CO e PROD na profundidade de 0-20 cm e nos sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico, 2004.

	AD	UV	MA	MI	DMP	CO
UV	-0.644 ⁽¹⁾ <.0001 ⁽²⁾					
MA	0.515 <.0001	-0.896 <.0001				
MI	-0.467 <.0001	0.862 <.0001	-0.961 <.0001			
DMP	-0.001 0.991	-0.118 0.311	0.113 0.333	-0.138 0.239		
CO	0.227 0.049	-0.399 0.001	0.434 <.0001	-0.367 0.001	0.296 0.010	
PROD	-0.013 0.950	-0.086 0.682	0.068 0.747	-0.025 0.906	0.120 0.568	-0.031 0.881

(1) Coeficiente de correlação de Pearson; (2) Probabilidade.

4.5 Produção e componentes do rendimento da soja

A resposta da soja aos diferentes manejos dados ao solo é analisada através dos seus principais componentes do rendimento e da produção. O resumo da análise de variância apresentada na Tabela 11, mostra efeito dos sistemas de manejo para altura de plantas e stand final, as quais foram igualmente afetadas pela interação manejo*bloco. O efeito de blocos manifestou-se para altura, stand, número de vagens por planta, massa de 1.000 grãos e produtividade.

Pela classificação de Pimentel-Gomes, 2002, o CV para os componentes do rendimento foi alto para STD, médio para VGS e PROD e baixo para (ALT, GR e M1000, portanto, por este critério, o experimento possuiu boa precisão para estas variáveis. O teste de Shapiro-Wilk para normalidade indicou que os dados amostrados obedecem a curva normal para ALT, STD, M1000 e PROD (> 0.95 seguem curva normal). Para as variáveis GR e VGS o índice w obtido está abaixo do limite esperado, mas pela sua proximidade com o índice de 0,95, optou-se por manter toda a população.

Tabela 11. Resumo da análise de variância e teste de normalidade para componentes do rendimento e produção da soja após pastagem de inverno, em solo Nitossolo Háplico, 2004

Fonte variação	Componente do rendimento ⁽¹⁾					
	ALT	STD	VGS	GR	M1000	PROD
Bloco	**	*	*	ns	**	*
Manejo	**	*	ns	ns	ns	ns
Manejo*Bloco	**	**	ns	ns	ns	ns
Coefic. variação	12	22	20	4	7	14
Normalidade ⁽²⁾	0.98	0.96	0.89	0.88	0.98	0.94

(1) ALT=Altura de plantas; STD=Stand; VGS=Vagens por planta; GR= Grãos por vagem; P1000=Massa de 1000 grãos; PROD=produtividade. (2)Teste Shapiro-Wilk. (3) **, *, ns = probabilidade P>F a 1%, 5% e não significativo, respectivamente.

A população de plantas apresentou diferença devido aos sistemas de manejo, variando entre 270.000 a 300.000 plantas ha^{-1} (Tabela 12). A menor

população foi verificada no sistema APPC (preparo convencional) e foi igual nos demais, com ou sem pisoteio animal. É possível inferir que o pisoteio animal não afetou a germinação e que o dispositivo de corte e deposição de sementes da semeadora foi eficiente em dar condição para uma germinação uniforme.

A menor população de plantas, observada onde ocorreu o máximo revolvimento do solo, deve-se provavelmente a outras variáveis não dimensionadas, como uma maior incidência de inços nas parcelas deste sistema.

A altura de plantas variou entre 78 a 94 cm, sendo que em preparo convencional (APPC) apresentou a menor altura média e no manejo APDF observou-se a maior altura (Tabela 12). Mesmo não havendo diferença estatística entre sistemas de manejo na produção, a análise de correlação entre altura de plantas e produção foi significativa a 1% ($r = 0,73$), conforme apresentado no Apêndice 8.

A altura de plantas é um dos componentes mais importantes na definição da produção da soja, pois o número de nós da haste principal depende da altura final da planta. Considerando-se que as vagens são produzidas pela planta em suas axilas foliares, tem-se que quanto maior a quantidade de nós na haste principal, maior será o potencial de frutificação (ROSOLEM et al., 1983; PEIXOTO, 1999).

Tabela 12. Componentes do rendimento da soja após pastagem de inverno nos sistemas de manejo do solo, em um Nitossolo Háplico, 2004

Componente	Sistema de manejo ⁽¹⁾					
	APD F	APP R	APS D	ASS D	APP C	Mé dia
Altura de plantas (cm)	94 a	90 ab	88 ab	86 bc	78 c	87
População (pl. ha ⁻¹) x1000	296 a	300 a	279 ab	291 a	270 b	287
Vagens por planta (nº)	32	29	34	32	36	32
Grãos por vagem (nº)	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,2
Massa 1000 grãos (g)	185	181	175	178	174	178

(1) APSD=aveia pastejada/semeadura direta; APDF=aveia pastejada/diferimento/semeadura direta; APPR=aveia pastejada/preparo reduzido; APPC=aveia pastejada/preparo convencional; ASSD=aveia sem pastejo/semeadura direta.

(2) Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste Duncan a 5%.

Esta relação direta entre altura de planta e número de vagens, não se verificou no tratamento APDF (maior altura), uma vez que o número de vagens, em número absoluto, deste sistema, situou-se em posição intermediária.

O número de vagens por planta variou entre 29 (APPR) a 36 (APPC) não diferindo entre sistemas de manejo. Nestes dois tratamentos em que houve mobilização do solo é que foram observados os valores extremos (estatisticamente iguais) no número de vagens.

Conforme Peixoto et al. (2000), além de se relacionar com a altura, o número de vagens por planta é afetado pelas práticas de manejo, e varia inversamente com a população de plantas, embora a soja se caracterize pela capacidade de compensação no uso do espaço entre. Estas afirmações não se confirmaram neste trabalho, pois o número de vagens não se correlacionou significativamente com altura e stand (Apêndice 8).

Geralmente, a maximização dos ganhos na produção resulta de aumentos no número total de vagens por planta. Os limites superiores para o número de sementes por vagem e tamanho da semente são definidos geneticamente, porém, esses dois componentes ainda podem variar o suficiente para produzir aumentos consideráveis de rendimento.

Mesmo sendo uma característica genética, o número de vagens por planta pode ser afetado em caso de severa variação das condições ambientais. Como no presente estudo, os sistemas de manejo não caracterizam esta severidade, não ocorreu diferença entre sistemas de manejo, e o número de grãos por vagem variou entre 2 a 3 grãos por vagem.

A massa de 1.000 grãos é expressão do potencial genético de uma cultivar, no entanto, estresse hídrico afetando o fornecimento de água e nutrientes na fase de enchimento dos grãos provocam redução no tamanho e massa dos grãos afetando o rendimento final. Neste sentido, os sistemas de manejo podem afetar o peso dos grãos ao não prover adequado fornecimento de água às plantas nesta fase.

Na Tabela 11 observamos que o efeito bloco mostrou efeito, reafirmando a eficácia do delineamento aplicado. A massa de 1.000 grãos variou de 174 a 185 gramas, mas não caracterizou diferença estatística.

Esta cultivar apresenta massa de 1.000 grãos em torno de 136 g (REUNIÃO..., 2004), e a massa média observada foi de 178 g, portanto, superior à característica da cultivar, o que talvez possa estar relacionado com o número de vagens por planta e de grãos por vagem, em função do caráter compensatório que a soja apresenta. Neste aspecto, a análise de correlação entre os componentes do rendimento mostrou correlação negativa a 5% de significância entre a massa de 1.000 grãos e o número de grãos por vagem ($r = -0,50$) e correlação positiva com altura de plantas ($r = 0,58$), mas não se correlacionou com o número de vagens por planta (Apêndice 8).

A produção final corrigida para 12% de umidade não apresentou diferença entre sistemas de manejo (Figura 6), variando entre valores extremos de 2.725 kg ha⁻¹ para o manejo APPR e 3.045 kg ha⁻¹ no manejo APDF. Como o tratamento sem pisoteio (ASSD) não diferiu estatisticamente dos demais, pode-se afirmar que o pastoreio não interferiu na produção final da soja.

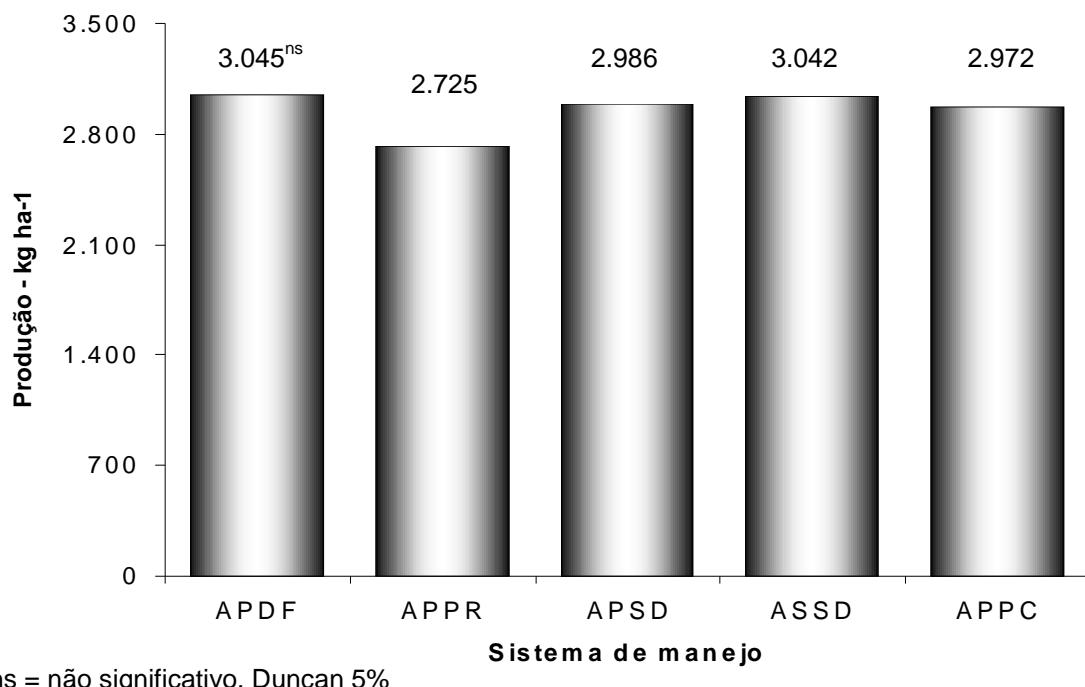


Figura 6. Rendimento da soja nos sistemas de manejo após pastagem de inverno, em Nitossolo Háplico, 2004 (ns = não significativo pelo teste Duncan a 5%).

O rendimento médio obtido neste estudo, 2.954 kg ha⁻¹, é semelhante à média deste cultivar (CD-205) no acompanhamento de safra realizado no Rio

Grande do Sul, onde apresentou rendimento médio de 2.906 kg ha⁻¹ no período 2001/02 a 2003/04, que é superior em relação às demais cultivares de mesmo ciclo nessas últimas três safras (REUNIÃO..., 2004).

Avaliando o rendimento da soja semeada após pastagem de aveia+azevém, manejada em diferentes alturas e massa de forragem, num Latossolo Vermelho, Cassol (2003) encontrou redução no rendimento de soja à medida que se reduziu a altura e a massa de forragem da pastagem, principalmente em anos de déficit hídrico. Porém, com maior altura, não observou diferença em relação a área não pastejada. Concluiu pela viabilidade da integração lavoura-pecuária, quando se manteve o mínimo de 20 cm de altura da pastagem e 2,8 Mg ha⁻¹ de massa de forragem.

No entanto, ao avaliar a produção de soja neste mesmo experimento em ano subseqüente, porém sem déficit hídrico, Leite et al. (2004) não encontraram diferença na produção de soja entre as alturas da pastagem, mesmo quando comparadas com área sem pastejo.

Albuquerque et al. (2001), ao comparar produção e componentes do rendimento de milho em solo Nitossolo Vermelho em sistema de integração lavoura-pecuária, observou redução no crescimento e na produção do milho em semeadura direta quando comparado com preparo convencional, atribuindo isso a acentuada degradação das propriedades físicas do solo sob sistema semeadura direta.

Resultado diverso a este foi encontrado por Assmann et al. (2003) trabalhando num Latossolo Bruno em Guarapuava, PR, comparando aplicação de nitrogênio em áreas com e sem pastejo na produção de milho em área sob sistema semeadura direta consolidado, concluindo que o pastejo não prejudicou a produtividade do milho.

Silva et al. (2000) também concluíram pela vantagem da integração ao avaliar o efeito do pisoteio animal em regime de pastejo contínuo nas características físico-químicas do solo e produção de milho cultivado em solo Podzólico Vermelho-Amarelo. Embora a semeadura direta sob pastejo tenha apresentado maior densidade do solo e menor densidade de raízes do milho, a produção não foi afetada, produzindo igual à semeadura direta sem pastejo e ao preparo convencional com e sem pastejo.

O desenvolvimento e rendimento da soja resultam da interação entre o potencial genético da cultivar com o ambiente. O potencial máximo de rendimento é determinado geneticamente e somente é obtido quando as condições ambientais são perfeitas. Estas condições praticamente não existem naturalmente e, assim, cabe ao produtor prover o melhor ambiente possível através de práticas de manejo adequadas.

Dentre as práticas de manejo da cultura que podem interferir no seu desenvolvimento e rendimento final está o preparo do solo, e o sucesso de práticas subsequentes depende ou se inter-relaciona diretamente com o manejo do solo na semeadura.

O uso excessivo de aração e gradagem superficial executadas continuamente nas mesmas profundidades, provocam a desestruturação da camada arável e outra camada compactada sub-superficialmente, a qual reduz a taxa de infiltração de água, incrementa a enxurrada e a erosão, prejudica o desenvolvimento radicular e, consequentemente, a plena expressão do potencial produtivo da lavoura. Por outro lado, quando o sistema é baseado na rotação de culturas, mínimo revolvimento e permanente cobertura do solo, como a semeadura direta, pode-se prevenir estes problemas (REUNIÃO, 2004).

Ao se integrar atividade pecuária com agricultura no sistema de semeadura direta, o pisoteio animal pode provocar alterações no solo e no rendimento da cultura subsequente, o que não ocorreu neste estudo.

5 CONCLUSÕES

O sistema integrado de lavoura e pecuária não influenciou o comportamento físico e hídrico do solo, pois não alterou o total de poros e sua distribuição em tamanho, a estabilidade de agregados, a densidade e a resistência do solo ao penetrômetro, o grau de floculação e a quantidade de água disponível na camada superficial, de 0 a 5 cm de profundidade, para a época de amostragem estudada. Entretanto, a continuidade do trabalho se faz necessária para avaliar com mais segurança o comportamento do solo no médio e longo prazo.

Em profundidade, constatou-se maior compactação do solo em comparação à camada superficial, como evidenciado pela diminuição na porosidade total, macroporosidade e aumento na densidade e resistência do solo ao penetrômetro. Tais atributos físicos estiveram próximos ou foram superiores aos níveis críticos normalmente estabelecidos para essas variáveis em relação à condição adequada para o desenvolvimento radicular das plantas, especialmente na camada de 10 a 20 cm de profundidade.

O preparo do solo no sistema convencional aumentou a macroporosidade e a quantidade de água disponível, mas reduziu a estabilidade de agregados na camada de 10 a 20 cm em relação aos demais sistemas de manejo. Entretanto, esta mobilização de solo não influenciou a densidade e a resistência do solo ao penetrômetro, sugerindo que a compactação residual em subsuperfície ainda pode ser minimizada por práticas agrícolas adicionais.

O deferimento da pastagem aumentou a produção de massa seca residual e a cobertura do solo.

O preparo do solo ocasionou a diminuição na altura de plantas em relação aos manejos conservacionistas. Entretanto, a produção e os componentes de rendimento da soja não foram afetados pelos tratamentos de preparo do solo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, J.A.; SANGOI, L. ENDER, M. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira Ciência Solo**, v.25, n.3, p.717-723, 2001.
- ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; ERNANI, P.R.; MAFRA, A.L.; FONTANA, E.C. Aplicação de calcário e fósforo e estabilidade da estrutura de um solo ácido. **Revista Brasileira Ciência Solo**, v.27, p. 799-806, 2003.
- ALBUQUERQUE, J.A.; MAFRA, A.L.; FONTOURA, S.M.V. et al. Avaliação de sistemas de preparo e calagem em um Latossolo Bruno alumínico. **Revista Brasileira Ciência Solo**, v.29, p.963-975, 2005.
- AMADO, T.J.C. Manejo da palha, dinâmica da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes em plantio direto. In: ENCONTRO NACIONAL DE PLANTIO DIRETO NA PALHA, 7., p. 105-111, 2000, Foz do Iguaçu. **Resumos...** Foz do Iguaçu: FEBRAPDP, 2000.
- AMADO, T.J.C.; ELTZ, F.L.F. Plantio direto na palha; rumo a sustentabilidade agrícola nos trópicos. **Rev. Ciência & Ambiente**, Santa Maria, n.27, p.49-64, 2003.
- AMBROSI, I., SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S. 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, 2001.
- ARSHAD, M.A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical test for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Eds.). **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p.123-141 (SSSA Special Publication, 49).
- ASSMANN, T.S.; RONZELLO JÚNIOR, P.; MORAES, A. 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 Ciência Solo**, v.27, n.4, p.675-683, 2003.
- AZEVEDO, A.C.; BONUMÁ, A.S. Partículas coloidais, dispersão e agregação em Latossolos. **Ciência Rural**, v.34, n.2., p. 609-617, 2004.
- BERTOL, I.; SANTOS, J.C.P. Uso do solo e propriedades físico-hídricas no Planalto catarinense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.30, n.2, p.263-267, 1995.

BERTOL, I.; GOMES, K.E.; DENARDIN, R.B.N. 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.

BERTOL, I.; ALMEIDA, J.A.; ALMEIDA, E.X. et al. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem de capim-elefante anão, cv. Mott. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.5, p.1047-1054, 2000.

BERTOL, I., BEUTLER, J.F., LEITE, D., BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agrícola**, v.58, n.3, p.555-560, 2001.

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J.A.; LEITE, D. 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 Ciência Solo**, v.28; p. 155-163, 2004.

BRAGA, H.J.; GUELURRE, R. Proposta climática para o estado de Santa Catarina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 9 e REUNIÃO LATINOAMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 2., 1999, Florianópolis, SC. **Anais...** Florianópolis: SBA, 1999. CD-ROM.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para Análise de Sementes**. Brasília: SNAD/DNDV/CLAV, 1992. 365p.

BRUM, A.L. A importância econômica da integração lavoura-pecuária. In: SIMPÓSIO DA CARNE BOVINA, 2, 2004, São Borja. Integração lavoura-pecuária. **Anais...** São Borja: UFRGS / Cooperativa Tritícola Sãoborgense, p.4-6, 2004.

CANTARUTTI, R.B.; NASCIMENTO JR., D.; COSTA, O.V. Impacto do animal sobre o solo: compactação e reciclagem de nutrientes. In: Reunião da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 38, 2001. **Resumos...** Piracicaba: ESALQ / SBZ, 2001. CD-ROM.

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

CARVALHO, P.C.F.; MORAES, A.; ANGHINONI, I. et al. Integração lavoura e pecuária: como aumentar a rentabilidade, otimizar o uso da terra e minimizar os riscos. In: SIMPÓSIO DA CARNE BOVINA: Integração lavoura-pecuária, 2, 2004. **Anais...** São Borja: UFRGS/Cooperativa Tritícola Sãoborgense, p.6-36, 2004.

CASSOL, L.C. **Relações solo-planta-animal num sistema de integração lavoura-pecuária em semeadura direta com calcário na superfície**. 2003. 144p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2003.

CICHOTA, R.; Van LIER, Q.J. Análise da variabilidade espacial de pontos de amostrais da curva de retenção da água no solo. **Revista Brasileira Ciência Solo**, v. 28, p. 585-596, 2004.

COIMBRA, J.L.M.; CARVALHO, F.I.F.; OLIVEIRA, A.C. Fundamentos do SAS aplicado à experimentação agrícola. Pelotas: Ed. Universitária, UFPEL, 2004. 246p.

COSTA, F.S.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C. et al. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira Ciência Solo**, v.27, p.527-535, 2003.

COSTA, F.S.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J.A.; FONTOURA, S.M.V. Aumento da matéria orgânica num Latossolo Bruno em plantio direto. **Ciência Rural**, v. 34, n.2, p.587-589, 2004.

DE MARIA, L.C. et al. Atributos físicos do solo e crescimento radicular da soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira Ciência Solo**, v. 23, p. 703-709, 1999.

DEXTER, A.R.; BIRD, N.R.A. Methods for predicting the optimum and the range of soil water contents for tillage based on the water retention curve. **Soil & Tillage Research**, v. 57, p. 203-212, 2001.

DIAS JÚNIOR, M.S. Compactação do solo. In: NOVAIS, R.B.; ALVAZRES V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R. (ed.). **Tópicos em Ciência do Solo**, 1, 2000. Viçosa: SBCS, p.53-94, 2000.

DOURADO NETO, D.; NIELSEN, D.R.; HOPMANS, J.W.; REICHARDT, K. BACCHI, O.O.S; LOPES, P.P. **Software to model soil water retention curves** (SWRC, version 3.00), 2001.

EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. ver. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. - Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.: il.

FLOSS, E.L. Benefícios da biomassa de aveia ao sistema plantio direto. **Revista Plantio Direto**, Mai/Jun, p. 25-29, 2000. Passo Fundo: Aldeia Norte, 2000.

FLOSS, E.L. Aveia, um sustentáculo do sistema de semeadura direta. **Revista Plantio Direto**, ed.72, nov/dez, 2002. Passo Fundo: Aldeia Norte, 2002.

FONTANELI, R.S.; AMBROSI, I. SANTOS, H.P. et al. Análise econômica de sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.11, p. 2129-2137, 2000.

GENRO JÚNIOR, S.A., REINERT, D.J., REICHERT, J.M. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um Latossolo Argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.28, p.477-484, 2004.

- GOEDERT, W.J., SCHERMACK, M.J., FREITAS, F.C. Estado de compactação do solo em áreas cultivadas no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.2, p. 223-227, 2002.
- HILLEL, D. **Fundamentals of soil physics**. New York, Academic Press, 1980. 412p.
- HILLEL, D. **Environmental soil physics**. San Diego: Academic Press, 1998. 771p.
- HODGSON, J.G. Grazing management: science into practice. Hong Kong: **Longman Scientific and Technical**, 1990. 203p.
- IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). **Censo Agropecuário 1995-1996, Santa Catarina**. v.21, 1997. CD-ROM.
- INSTITUTO CEPA/SC. **Síntese anual da agricultura de Santa Catarina, 2003-2004**. Florianópolis, 2004. 378p.
- KAMINSKI, J.; GATIBONI, L.C.; RHEINHEIMER, D.S.; MARTINS, J.R.; SANTOS, E.J.S.; TISSOT, C.A. Estimativa da acidez potencial em solos e sua implicação no cálculo da necessidade de calcário. **Revista Brasileira Ciência Solo**, Viçosa, v.26, n.4, p.1107-1113, 2002.
- KEMPER, W.D.; CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A.; EVANS, D.D.; WHITE, J.L.; ENSMINGER, L.E.; CLARCK, F.E., eds. **Methods of soil analysis**. Madison, **American Society Agronomy**. p.499-510. (Agronomy Monograph, 9). 1965.
- LANG, C.R.; PELISSARI, A.; MORAES, A. et al. Fitomassa aérea residual da pastagem de inverno no sistema integração lavoura-pecuária. **Scientia Agrária**, v.5, n.1-2, p.43-48, 2004.
- LEÃO, T.P.; SILVA, A.P.; MACEDO, M.C.M. et al. Intervalo hídrico ótimo na avaliação de sistemas de pastejo contínuo e rotacionado. **Revista Brasileira Ciência Solo**, v. 28, p. 415-423, 2004.
- LEITE, J.G.D.B.; FLORES, J.P.C.; FRAGA, T.I. et al. Atributos físicos do solo e rendimento de soja em um sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 26, 2004, Lages. **Anais...** Lages: SBCS/UDESC, 2004. CD-ROM.
- LEMOS, R.C.; SANTOS, R.D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 4.ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. 83p.:il.
- LUSTOSA, S.B.C. **Efeito do pastejo nas propriedades químicas do solo e no rendimento de soja e milho em rotação com pastagem consorciada de inverno no sistema plantio direto**. 1998. 84p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo). Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 1998.

MACEDO, M. C. M. Integração lavoura e pecuária: alternativa para sustentabilidade da produção animal. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGENS, 18, 2001, Piracicaba. Planejamento de sistemas de produção em pastagens. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, p.87-127, 2001.

MACHADO, M.L.; RADOMSKI, M.I.; VIEIRA, J.A. et al. A integração lavoura-pecuária na agricultura familiar do Sudoeste do Paraná. In: ENCONTRO DE INTEGRAÇÃO LAVOURA PECUÁRIA NO SUL DO BRASIL, 1, 2002, Pato Branco. **Anais...** Pato Branco: CEFET-PR, p.253-283, 2002.

MARQUES, J.D.O.; LIBARDI, P.L.; TEIXEIRA, W.G.; REIS, A.M. Estudo de parâmetros físicos, químicos e hídricos de um Latosso Amarelo, na região Amazônica. **Revista Acta Amazônica**, v.34, n.2, p. 145-154, 2004.

MELLO, J.S. Integração lavoura-pecuária em sistema plantio direto. **Projeto METAS**, Passo Fundo, 1998. p.9-36. (Boletim Técnico n.3, 1998).

MELLO, L.M.M. Integração lavoura-pecuária em sistema plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29, 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: SBCS, 2003. CD-ROM.

MORAES, A. Culturas forrageiras de inverno. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE FORRAGEIRAS E PASTAGENS. **Resumos...** Campinas: CBNA, 1994. p.67-78.

MORAES, A.; SANDINI, I.; ALVES, S.J.; PELISSARI, A. Sistemas de produção: Integração lavoura pecuária no 3º planalto do Paraná. In: REUNIÃO DO GRUPO TÉCNICO FORRAGEIRAS DO CONE SUL, Zona Campos, 18. Guarapuava: CPAF/APA. Dinâmica da vegetação em ecossistemas pastoris. **Anais...** p.6-22, 2000.

OTTONI FILHO, T.B. Uma classificação físico-hídrica dos solos. **Revista Brasileira Ciência Solo**, v. 27, p. 211-222, 2003.

PALADINI, F.L.S.; MIELNICZUK, J. Distribuição de tamanho de agregados de um solo Podzólico Vermelho-escuro afetado por sistema de culturas. **Revista Brasileira Ciência Solo**, v. 15, p. 135-140, 1991.

PEIXOTO, C.P.; CAMARA, G.M.S.; MARTINS, M.C.; et al. Épocas de semeadura e densidade de plantas de soja: I. Componentes da produção e rendimento de grãos. **Scientia Agrícola**, v.57, n.1, p.89-96, 2000.

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C.H. Estatística aplicada a experimentos agronômicos e florestais: exposição com exemplos e orientação para uso de aplicativos. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309p.

RANGEL, M.A.S.; MARANHO, E.; SILVA, F.O. Manejo da aveia preta em sistema de produção agropecuária integrada. **Boletim de Pesquisa & Desenvolvimento**, 13. 19p, 2002. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2002.

REICHARDT, K., TIMM, L.C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. 1 ed. Barueri, SP: Manole, 2004. 478p.

REICHERT, J.M.; REINERTT, D.J.; BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Revista Ciência e Ambiente**, v.27, p.29-48, 2003.

REYNOLDS, W.D.; BOWMAN, B.T.; DRURY, C.F. et al. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**, v.110, p. 131-146, 2002.

REUNIÃO DE PESQUISA DA SOJA DA REGIÃO SUL (32, 2004, Passo Fundo). **Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina-2004/2005**. Costamilan, L.M.;Bertagnolli, P.F. (Org.). Passo Fundo, RS: Embrapa Trigo, 2004, 170p. (Sistema de Produção, 1).

ROCHA, G.L. **Ecossistemas de pastagens: aspectos dinâmicos**. Piracicaba: FEALQ, 1991. 391p.

ROMANO, P.A. Meio ambiente e inclusão social: a contribuição da integração lavoura/pecuária com plantio direto na região dos Cerrados. **Parcerias Estratégicas**, v.20, pt.1, p. 339-365, junho 2005. Brasília: Centro de Gestão de Estudos Estratégicos/MCT, 2005.

ROSOLOEM, C.A.; SILVÉRIO, J.C.O., NAKAGAWA, J. Densidade de plantas na cultura da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.18, n.9, p. 977-984, 1983.

ROTH, C.H.; CASTRO FILHO, C.; MEDEIROS, G.B. Análise de fatores físicos e químicos relacionados com agregação de um Latossolo Roxo distrófico. **Revista Brasileira Ciência Solo**, v.15, p. 241-248, 1991.

SALTON, J.C.; FABRICIO, A.C.; MACHADO, L.A.Z.; OLIVEIRA, H. Pastoreio da aveia e compactação do solo. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v.69, p.32-34, 2002.

SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S.; TOMM, G.O. Efeito de sistemas de produção de grãos e de pastagens sob plantio direto sobre o nível de fertilidade do solo após cinco anos. **Revista Brasileira Ciência Solo**, v. 25, p. 645-653, 2001.

SHELTON, D.P.; KANABLE, R.; JASA, P.J. Estimating percent residue cover using the line-transect method. NebGuide G93-1133, **University of Nebraska-Lincoln**: Cooperative Extension of Agriculture and Natural Resources. Electronic version, 1997. Disponível em <<http://ianrpubs.unl.edu/fielcrops/g1133.htm>>. Acesso em 19.09.2003.

SILVA, A.P.; TORMENA, C.A.; MAZZA, J.A. Manejo físico de solos sob pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 14, 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, p.25-37, 1997.

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

SILVA, M.A.S. **Atributos físicos e hídricos do solo em sistemas de manejo comparados ao campo nativo**. 2003. 108p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Centro de Ciência Agroveterinárias / UDESC, Lages, 2003.

SILVA, M.A.S.; MAFRA, A.; ALBUQUERQUE, J.A. et al. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência Rural**, v.35, n.3, p.544-552, 2005.

SILVA, V.R., REICHERT, J.M., REINERT, D.J. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em plantio direto. **Ciência Rural**, v.34, n.2., p.399-406, 2004.

SILVA, V.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastojo e manejo do solo. **Revista Brasileira Ciência Solo**, n.24, p.191-199, 2000.

SILVA, V.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Susceptibilidade à compactação de um Latossolo Vermelho-escuro e de um Podzólico Vermelho-amarelo. **Revista Brasileira Ciência Solo**, n.24, p.239-249, 2000.

SLONECKER, L.L.; MOLDENHAUER, W.C. Measuring the amounts of crop residue remaining after tillage. **J. Soil Water. Conserv.**, 32: 231-236, 1977.

SOUSA, A. R., SILVA, A. B., RESENDE, M. Influência da pressão exercida por pisoteio de animais na compactação do solo do vale do Pajeú, em Pernambuco. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO DA ÁGUA, 12, 1988, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: SBCS, p.256-257, 1998.

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

STRECK, C.A.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; KAISER, D.R. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido d um trator em plantio direto. **Ciência Rural**, v. 34, n. 3, p. 755-760, 2004.

TAYLOR, S.A.; ASHCROFT, G.L. **Physical edaphology**. San Francisco, W.H. Freeman, 1972. 532p.

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

TEIXEIRA, C.M.; CARVALHO, G.J. Componentes de produção do milho em diferentes épocas de adubação nitrogenada em cobertura nos sistemas de plantio convencional e direto. **Ciência e Agrotecnologia**, v.27, n.1, p.228-231, 2003.

TESTA, V.M.; MELLO, M.A.; FERRARI, D.L. et al. **A escolha da trajetória da produção de leite como estratégia de desenvolvimento do Oeste Catarinense.** Florianópolis: SAR, 2003. 130p.

TESTA, V.M.; NADAL, R.; MIOR, L.C. et al. **O desenvolvimento sustentável no Oeste Catarinense** (Proposta para discussão). Florianópolis: EPAGRI, 1996. 247p.

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Organic matter and water stable aggregates in soil. **J. Soil Sci.**, v.33, p.141-163, 1982.

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

TREIN, C.R.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Métodos De preparo do solo na cultura do milho e ressemeadura do trevo na rotação aveia+trevo / milho, após pastejo intensivo. **Revista Brasileira Ciência Solo**, v.15, n.1, p.105-111, 1991.

VAN GENUCHTEN, M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of American Journal**. Madison. n.44(5): p.892-898, 1980.

VEIGA, M. **Propriedades de um Nitossolo Vermelho após nove anos de uso de sistemas de manejo e efeito sobre culturas.** 2005. 110p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2005.

VILELA, L.; BARCELLOS, A.O.; SOUSA, D.M.G. **Benefícios da integração entre lavoura e pecuária.** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2001. 21p. (Embrapa Cerrados, Documentos, 42).

WOHLENBERG, E.V.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BLUME, E. Dinâmica da agregação de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão. **Revista Brasileira Ciência Solo**, v. 28; p. 891-900, 2004.

7. APÊNDICES

APÊNDICE 1. Propriedades físicas em três profundidades e nos sistemas de manejo, 124 dias após semeadura da soja, em Nitossolo Háplico, 2004

SISTEMA MANEJO	PROF ² cm	REP. nº	Propriedades físicas do solo ¹				
			PT	Mi	Ma	RP	Ds
----- m ³ m ⁻³ -----							
APSD	0 - 5	1	0,56	0,37	0,19	3,1	1,19
		2	0,54	0,40	0,13	2,5	1,25
		3	0,57	0,37	0,20	0,7	1,15
		4	0,58	0,34	0,24	1,0	1,11
		5	0,55	0,37	0,17	0,3	1,15
	5 - 10	1	0,53	0,37	0,16	3,9	1,26
		2	0,51	0,42	0,09	3,3	1,33
		3	0,46	0,45	0,01	2,7	1,39
		4	0,49	0,43	0,06	2,2	1,37
		5	0,46	0,44	0,02	2,8	1,38
	10 - 20	1	0,44	0,44	0,00	3,8	1,50
		2	0,49	0,45	0,04	3,5	1,36
		3	0,46	0,45	0,01	2,9	1,40
		4	0,47	0,44	0,03	2,2	1,43
		5	0,53	0,40	0,13	3,1	1,19
ASDF	0 - 5	1	0,52	0,40	0,12	1,5	1,27
		2	0,58	0,36	0,22	1,2	1,16
		3	0,56	0,35	0,21	1,9	1,18
		4	0,56	0,34	0,22	0,3	1,19
		5	0,56	0,36	0,20	0,6	1,12
	5 - 10	1	0,49	0,41	0,07	2,5	1,37
		2	0,54	0,39	0,15	2,6	1,28
		3	0,51	0,40	0,11	2,6	1,30
		4	0,50	0,39	0,12	1,4	1,34
		5	0,54	0,38	0,16	2,6	1,19
	10 - 20	1	0,47	0,45	0,02	3,1	1,43
		2	0,51	0,40	0,10	4,0	1,36
		3	0,47	0,43	0,04	4,1	1,43
		4	0,47	0,42	0,05	3,0	1,41
		5	0,50	0,41	0,09	4,4	1,28
APPR	0 - 5	1	0,55	0,38	0,18	0,1	1,18
		2	0,61	0,34	0,27	1,1	1,04
		3	0,53	0,37	0,16	1,7	1,25
		4	0,55	0,37	0,17	0,4	1,17
		5	0,57	0,31	0,26	0,0	1,13
	5 - 10	1	0,55	0,37	0,18	4,5	1,22
		2	0,50	0,41	0,10	2,7	1,31
		3	0,52	0,41	0,10	2,2	1,30
		4	0,50	0,42	0,08	3,0	1,31
		5	0,56	0,38	0,17	1,5	1,18
	10 - 20	1	0,48	0,41	0,07	4,5	1,41
		2	0,44	0,43	0,01	4,5	1,47
		3	0,51	0,41	0,10	4,3	1,32
		4	0,51	0,41	0,10	3,9	1,27
		5	0,44	0,43	0,00	2,8	1,49
APPC	0 - 5	1	0,60	0,34	0,26	1,3	1,09

CONTINUA...

APÊNDICE 1. Continuação

		2	0,61	0,33	0,27	0,8	1,04	0,22
		3	0,57	0,36	0,21	0,6	1,15	0,30
		4	0,52	0,39	0,13	1,2	1,20	0,33
		5	0,58	0,36	0,22	1,0	1,05	0,29
	5 - 10	1	0,48	0,43	0,05	4,0	1,39	0,32
		2	0,58	0,36	0,22	2,6	1,11	0,27
		3	0,53	0,40	0,13	1,8	1,23	0,35
		4	0,53	0,39	0,14	3,6	1,19	0,34
		5	0,51	0,43	0,09	3,3	1,24	0,35
	10 - 20	1	0,51	0,41	0,10	3,0	1,29	0,34
		2	0,54	0,40	0,14	2,3	1,21	0,31
		3	0,53	0,43	0,11	2,3	1,24	0,36
		4	0,49	0,42	0,07	4,0	1,31	0,38
		5	0,49	0,42	0,07	4,5	1,30	0,37
ASSD	0 - 5	1	0,52	0,39	0,13	1,6	1,29	0,29
		2	0,57	0,35	0,22	1,1	1,16	0,26
		3	0,55	0,36	0,19	1,9	1,21	0,31
		4	0,60	0,31	0,29	0,9	1,06	0,23
		5	0,51	0,40	0,12	1,7	1,29	0,34
	5 - 10	1	0,49	0,42	0,07	3,3	1,39	0,33
		2	0,55	0,40	0,15	2,6	1,25	0,33
		3	0,47	0,42	0,05	3,7	1,42	0,35
		4	0,51	0,37	0,14	3,4	1,31	0,32
		5	0,53	0,39	0,13	2,9	1,25	0,36
	10 - 20	1	0,48	0,42	0,05	3,5	1,41	0,36
		2	0,57	0,37	0,20	2,7	1,14	0,29
		3	0,45	0,44	0,01	4,2	1,48	0,39
		4	0,43	0,42	0,01	4,0	1,57	0,42
		5	0,47	0,44	0,03	4,5	1,40	0,42
	MÉDIA GERAL		0,52	0,39	0,12	2,5	1,27	0,34

PT = porosidade total; Ma = macroporos; Mi = microporos; RP = resistência ao penetrômetro; Ds = densidade do solo; θ_v = umidade volumétrica.

APÊNDICE 2. Granulometria, GF, DMP, DMG e CO em três profundidades e nos sistemas de manejo, 124 DAS da soja, em Nitossolo Háplico, 2004

Sistema manejo	Prof. (²) cm	Rep. nº	Granulometria				GF ¹	Agregados		CO g kg ⁻¹		
			Areia	Silte	Argila			DMP	DMG			
					Total	Natural						
-----g kg ⁻¹ -----												
APSD	0 - 5	1	185	299	515	206	60	4,8	3,4	25,0		
		2	159	339	503	218	57	5,1	3,7	29,2		
		3	177	387	436	228	48	5,5	4,3	31,3		
		4	155	403	442	192	57	5,6	4,6	27,0		
		5	158	419	422	229	46	5,1	3,9	29,6		
	5 - 10	1	185	340	475	218	54	5,1	3,9	26,7		
		2	153	359	488	223	54	5,6	4,6	29,9		
		3	165	373	463	246	47	5,2	4,0	30,2		
		4	153	413	434	213	51	5,4	4,4	28,2		
		5	152	404	443	223	50	5,6	4,8	29,5		
	10-20	1	159	361	480	300	38	4,7	3,5	20,5		
		2	145	325	530	294	44	4,9	3,4	26,1		
		3	161	411	428	246	42	5,5	4,8	29,6		
		4	162	404	434	217	50	5,3	4,3	25,3		
		5	148	431	421	233	44	5,1	4,1	29,5		
APDF	0 - 5	1	192	326	482	240	50	5,2	4,0	27,1		
		2	153	409	438	230	48	5,9	5,1	30,2		
		3	152	367	481	254	47	5,1	4,1	29,3		
		4	158	390	452	238	47	5,0	3,8	29,0		
		5	164	408	428	232	46	5,9	5,1	31,0		
	5 - 10	1	182	316	501	259	48	5,2	3,5	27,2		
		2	145	410	445	246	45	5,9	5,2	29,8		
		3	140	380	480	255	47	5,5	4,4	26,6		
		4	154	377	469	293	38	5,5	4,6	28,0		
		5	155	402	443	258	42	5,1	4,0	30,2		
	10-20	1	172	327	501	316	37	5,2	3,9	21,5		
		2	149	388	463	245	47	5,3	4,2	29,5		
		3	144	374	481	256	47	5,7	4,8	28,0		
		4	155	389	455	267	41	5,4	4,4	26,1		
		5	143	406	451	247	45	4,6	3,5	27,3		
APPR	0 - 5	1	181	357	462	215	53	5,3	4,2	29,0		
		2	185	373	442	207	53	5,0	3,7	30,3		
		3	141	418	441	218	51	5,5	4,3	29,0		
		4	174	397	429	218	49	5,2	4,0	27,9		
		5	179	366	455	395	13	4,9	3,6	28,1		
	5 - 10	1	220	323	457	249	46	5,0	3,9	27,9		
		2	194	332	474	244	48	5,7	4,9	29,7		
		3	137	420	443	216	51	3,7	1,6	28,1		
		4	170	408	422	252	40	6,5	9,8	27,8		
		5	179	331	491	254	48	5,3	4,5	29,3		

continua...

Apêndice 2. Continuação

	10-20	1	172	320	508	310	39	4,3	2,9	23,7
		2	187	356	456	237	48	5,8	4,9	29,8
		3	138	423	439	248	43	5,8	4,9	28,5
		4	173	409	418	228	45	3,9	1,8	26,6
		5	163	364	473	261	45	5,3	4,3	28,2
APPC	0 - 5	1	197	363	440	214	51	5,9	5,1	27,8
		2	166	342	492	217	56	5,4	4,2	29,2
		3	153	395	452	240	47	5,6	4,6	28,7
		4	191	399	411	237	42	4,6	3,4	28,9
		5	156	436	408	227	44	5,2	4,0	28,4
	5 - 10	1	179	323	498	229	54	4,7	3,3	26,6
		2	160	364	476	254	47	5,3	4,0	29,8
		3	144	398	458	246	46	5,1	3,9	28,6
		4	196	372	432	232	46	4,3	2,8	28,7
		5	154	439	407	215	47	4,2	2,7	28,4
	10-20	1	175	348	477	273	43	5,0	3,9	26,5
		2	160	353	487	293	40	5,0	3,6	27,5
		3	144	417	439	260	41	5,4	4,3	28,5
		4	180	400	420	246	41	4,1	2,8	26,7
		5	154	441	405	226	44	3,8	2,3	27,9
ASSD	0 - 5	1	188	330	482	235	51	4,8	3,7	24,6
		2	161	385	454	200	56	5,6	4,5	30,6
		3	137	362	501	261	48	5,8	4,7	28,0
		4	170	363	467	258	45	5,7	5,0	28,7
		5	166	382	452	214	53	5,4	4,4	29,5
	5 - 10	1	188	334	478	264	45	5,2	4,2	25,3
		2	162	392	446	246	45	5,5	4,3	30,4
		3	131	368	501	262	48	5,5	4,5	27,3
		4	165	354	481	253	47	5,8	5,0	27,0
		5	161	380	459	247	46	5,4	4,4	27,2
	10-20	1	187	351	461	309	33	5,1	3,9	22,3
		2	146	388	465	199	57	5,3	4,3	29,2
		3	130	349	521	270	48	5,5	4,4	25,4
		4	153	342	505	301	40	5,8	5,1	26,5
		5	150	409	441	265	40	5,8	5,1	27,4
MÉDIA GERAL			164	376	460	246	46	5,2	4,2	27,9

GF = Grau de floculação; DMP = Diâmetro médio ponderado; DMG = Diâmetro médio geométrico; CO = Carbono orgânico.

APÊNDICE 3. Parâmetros empíricos do modelo de Van Genuchten (1980), obtidos pelo programa SWRC (Dourado Neto et al., 2001) em três profundidades e nos sistemas de manejo, 124 DAS da soja, em Nitossolo Háplico, 2004

Profundidade cm	Parâmetros empíricos	Sistema de manejo				
		APSD	APDF	APPR	APPC	ASSD
0 a 5	α (1 kPa ⁻¹)	8,784	10,624	14,090	12,647	17,740
	m	0,080	0,083	0,083	0,084	0,227
	n	2,184	2,071	1,879	2,030	0,701
	θ_r (m ³ m ⁻³)	0,135	0,127	0,111	0,137	0,120
	θ_s (m ³ m ⁻³)	0,585	0,587	0,581	0,594	0,573
5 a 10	α (1 kPa ⁻¹)	6,532	6,363	8,292	4,781	19,049
	m	0,065	0,062	0,064	0,056	0,208
	n	2,182	2,161	2,111	2,167	0,594
	θ_r (m ³ m ⁻³)	0,181	0,150	0,145	0,152	0,140
	θ_s (m ³ m ⁻³)	0,553	0,539	0,541	0,522	0,550
10 a 20	α (1 kPa ⁻¹)	9,697	4,626	15,425	0,190	5,718
	m	0,041	0,057	0,029	0,771	0,049
	n	2,133	2,156	2,023	0,433	2,172
	θ_r (m ³ m ⁻³)	0,146	0,186	0,000	0,228	0,159
	θ_s (m ³ m ⁻³)	0,538	0,511	0,523	0,523	0,521

APÊNDICE 4. Umidade volumétrica ajustada pela equação de Van Genuchten (1980) em três profundidades e nos sistemas de manejo, 124 DAS, em Nitossolo Háplico, 2004

Profundidade cm	Potencial kPa	Sistema de manejo				
		APSD	APDF	APPR	APPC	ASSD
0 a 5	0	0,585	0,587	0,581	0,594	0,573
	6	0,359	0,353	0,346	0,355	0,334
	10	0,340	0,334	0,327	0,337	0,318
	33	0,301	0,295	0,291	0,300	0,284
	50	0,290	0,284	0,279	0,289	0,274
	100	0,272	0,266	0,262	0,272	0,258
	300	0,248	0,242	0,238	0,249	0,236
	500	0,238	0,233	0,228	0,239	0,227
	1500	0,220	0,215	0,210	0,222	0,210
5 a 10	0	0,553	0,539	0,541	0,522	0,550
	6	0,402	0,390	0,379	0,399	0,365
	10	0,387	0,374	0,363	0,384	0,352
	33	0,355	0,341	0,331	0,353	0,324
	50	0,345	0,331	0,321	0,343	0,315
	100	0,330	0,315	0,305	0,328	0,301
	300	0,308	0,292	0,283	0,306	0,281
	500	0,299	0,283	0,274	0,297	0,272
	1500	0,282	0,265	0,256	0,279	0,255
10 a 20	0	0,538	0,511	0,523	0,523	0,521
	6	0,421	0,402	0,402	0,397	0,407
	10	0,409	0,389	0,391	0,382	0,394
	33	0,383	0,361	0,365	0,348	0,366
	50	0,375	0,352	0,356	0,337	0,357
	100	0,361	0,338	0,342	0,319	0,342
	300	0,341	0,319	0,321	0,296	0,322
	500	0,333	0,311	0,312	0,286	0,313
	1500	0,316	0,295	0,292	0,270	0,296

APÊNDICE 5. Umidade volumétrica média obtida na câmara de Richards em diferentes succões, em três profundidades e nos sistemas de manejo, em amostras coletadas 124 DAS da soja, num Nitossolo Háplico, 2004

Profundidade cm	Sistema de manejo				
	APPC ⁽¹⁾	APPR	APSD	APDF	ASSD
Potencial matricial (ψ_m) - 0 kPa					
0 – 5	0,594 A ⁽²⁾	0,580 A	0,585 A	0,587 A	0,573 A
5 – 10	0,522 B	0,541 AB	0,553 AB	0,539 B	0,550 AB
10 – 20	0,523 B	0,523 B	0,538 B	0,511 C	0,521 B
Potencial matricial (ψ_m) - 6 kPa					
0 – 5	0,355 B	0,346 B	0,359 A	0,352 B	0,333 B
5 – 10	0,397 A	0,377 AB	0,400 A	0,388 A	0,364 B
10 – 20	0,396 A	0,400 A	0,419 A	0,399 A	0,405 A
Potencial matricial (ψ_m) - 10 kPa					
0 – 5	0,337 B	0,330 B	0,341 B	0,337 B	0,320 B
5 – 10	0,387 A	0,366 AB	0,388 A	0,377 A	0,355 B
10 – 20	0,384 A	0,393 A	0,412 A	0,392 A	0,397 A
Potencial matricial (ψ_m) - 33 kPa					
0 – 5	0,302 B	0,292 B	0,302 B	0,296 B	0,285 C
5 – 10	0,355 A	0,332 A	0,356 A	0,341 B	0,324 B
10 – 20	0,349 A	0,365 A	0,384 A	0,363 A	0,366 A
Potencial matricial (ψ_m) - 50 kPa					
0 – 5	0,285 B	0,276 B	0,287 B	0,281 B	0,271 C
5 – 10	0,339 A	0,317 AB	0,342 A	0,327 B	0,310 B
10 – 20	0,333 Ab	0,351 Aab	0,372 Aa	0,348 Aab	0,351 Aab
Potencial matricial (ψ_m) - 100 kPa					
0 – 5	0,273 B	0,263 B	0,274 B	0,268 B	0,260 C
5 – 10	0,329 A	0,305 A	0,331 A	0,316 B	0,303 B
10 – 20	0,321 Ab	0,343 Aab	0,362 Aa	0,339 Aab	0,344 Aab
Potencial matricial (ψ_m) - 300 kPa					
0 – 5	0,250 B	0,240 B	0,250 C	0,245 B	0,237 C
5 – 10	0,308 A	0,285 A	0,309 B	0,295 B	0,283 B
10 – 20	0,298 Ab	0,324 Aab	0,343 Aa	0,320 Aab	0,324 Aab
Potencial matricial (ψ_m) - 500 kPa					
0 – 5	0,238 B	0,228 B	0,236 C	0,232 B	0,225 C
5 – 10	0,295 A	0,273 A	0,296 B	0,282 B	0,272 B
10 – 20	0,284 Ab	0,309 Aab	0,331 Aa	0,309 Aab	0,312 Aab
Potencial matricial (ψ_m) - 1500 kPa					
0 – 5	0,222 B	0,210 B	0,220 C	0,215 B	0,210 C
5 – 10	0,279 A	0,256 A	0,281 B	0,265 B	0,255 B
10 – 20	0,270 Ab	0,292 Aab	0,316 Aa	0,295 Aab	0,296 Ab

(1) APSD=aveia pastejada/semeadura direta; APDF=aveia pastejada/diferimento/semeadura direta; APPR=aveia pastejada/preparo reduzido; APPC=aveia pastejada/preparo convencional; ASSD=aveia sem pastejo/semeadura direta. (2) Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha para cada ψ_m não diferem entre si pelo teste Duncan ($P < 0,05$). Na ausência de letra(s) não ocorre diferença estatística.

APÊNDICE 6. Produção da massa de forragem de uma pastagem de aveia + azevém + ervilhaca em kg MS ha⁻¹, cultivada em um Nitossolo Háplico, 2004.

Data de coleta	Repetições (blocos)					Média
	A	B	C	D	E	
----- kg MS ha ⁻¹ -----						
16/06	1.328	849	995	1.442	1.887	1.300
22/07	1.141	730	855	1.240	1.622	1.117
15/08	1.008	792	698	851	1.472	964
18/09	1.078	482	893	439	1.191	817
16/10	951	1.000	1.900	1.771	1.308	1.386
08/12	1.019	2.696	1.407	1.840	1.357	1.664
					TOTAL	7.248

APÊNDICE 7. Análise de correlação de Pearson entre componentes do rendimento da soja e componentes da pastagem de inverno para tratamentos sem mobilização do solo (ASSD, APSD, APDF).

	ALT	STD	VGS	GR	MIL	PRO	MS	PERC
ALT	1.000 -	-0.075 0.789	0.482 0.068	-0.004 0.985	0.582 0.022	0.733 0.001	0.355 0.192	0.125 0.656
STD	-0.075 0.789	1.000 -	-0.141 0.613	-0.374 0.168	-0.195 0.485	-0.183 0.512	-0.333 0.225	0.060 0.829
VGS	0.482 0.068	-0.141 0.613	1.000 -	0.057 0.839	0.314 0.253	0.718 0.002	0.350 0.200	0.185 0.508
GR	-0.004 0.985	-0.374 0.168	0.057 0.839	1.000 -	-0.506 0.053	0.010 0.970	0.371 0.173	0.240 0.387
MIL	0.582 0.022	-0.195 0.485	0.314 0.253	-0.506 0.053	1.000 -	0.657 0.007	-0.082 0.769	0.152 0.587
PRO	0.733 0.001	-0.183 0.512	0.718 0.002	0.010 0.970	0.657 0.007	1.000 -	0.267 0.335	0.332 0.225
MS	0.355 0.192	-0.333 0.225	0.350 0.200	0.371 0.172	-0.082 0.769	0.267 0.335	1.000 -	-0.279 0.312
PERC	0.125 0.656	0.060 0.829	0.185 0.508	0.240 0.387	0.152 0.587	0.332 0.225	-0.279 0.312	1.000 -

(1) ALT = Altura de plantas; STD = População de plantas; VGS = Vagens por planta; GR = Grãos por vagem; MIL = Massa de 1000 grãos; PRO = Produtividade; MS = Massa seca da cobertura residual; PERC = Percentual de cobertura do solo.

APÊNDICE 8. Análise de correlação de Pearson entre componentes do rendimento da soja e componentes da pastagem de inverno, de todos os tratamentos, 2004.

	ALT	STD	VGS	GR	MIL	PRO	MS	PERC
LT	1.000	-0.075	0.482	-0.004	0.582	0.733	0.355	0.125
	-	0.789	0.068	0.985	0.022	0.001	0.192	0.656
STD	-0.075	1.000	-0.141	-0.374	-0.195	-0.183	-0.333	0.060
	0.789	-	0.613	0.168	0.485	0.512	0.225	0.829
VGS	0.482	-0.141	1.000	0.057	0.314	0.718	0.350	0.185
	0.068	0.613	-	0.839	0.253	0.002	0.200	0.508
GR	-0.004	-0.374	0.057	1.000	-0.506	0.010	0.371	0.240
	0.985	0.168	0.839	-	0.053	0.970	0.172	0.387
MIL	0.582	-0.195	0.314	-0.506	1.000	0.657	-0.082	0.152
	0.022	0.485	0.253	0.053	-	0.007	0.769	0.587
PRO	0.733	-0.183	0.718	0.010	0.657	1.000	0.267	0.332
	0.001	0.512	0.002	0.970	0.007	-	0.335	0.225
MS	0.355	-0.333	0.350	0.371	-0.082	0.267	1.000	-0.279
	0.192	0.225	0.200	0.172	0.769	0.335	-	0.312
PERC	0.125	0.060	0.185	0.240	0.152	0.332	-0.279	1.000
	0.656	0.829	0.508	0.387	0.587	0.225	0.312	-

(1) ALT = Altura de plantas; STD = População de plantas; VGS = Vagens por planta; GR = Grãos por vagem; MIL = Massa de 1000 grãos; PRO = Produtividade; MS = Massa seca da cobertura residual; PERC = Percentual de cobertura do solo.

APÊNDICE 9. Análise de correlação de Pearson entre propriedades físicas e químicas
aos 124 DAS da soja, num solo Nitossolo Háplico, 2004.

	AT	AN	GF	DMP	DMG	CO	pH	SMP	Ca+Mg
AT	1,000	0,451	0,145	0,114	0,104	-0,390	-0,040	0,253	0,052
	-	<,0001	0,219	0,331	0,381	0,001	0,731	0,029	0,658
AN	0,451	1,000	-0,814	0,030	0,003	-0,543	0,074	0,144	-0,102
	<,00001	-	<,0001	0,800	0,983	<,0001	0,532	0,222	0,387
GF	0,145	-0,814	1,000	0,053	0,085	0,352	-0,121	0,001	0,147
	0,219	<,0001		0,654	0,475	0,002	0,303	0,990	0,210
DMP	0,114	0,030	0,053	1,000	0,976	0,296	0,132	0,135	0,205
	0,331	0,800	0,654	-	<,0001	0,010	0,258	0,250	0,078
DMG	0,104	0,003	0,085	0,976	1,000	0,311	0,196	0,222	0,261
	0,381	0,983	0,475	<,0001	-	0,007	0,097	0,060	0,026
CO	-0,390	-0,543	0,352	0,296	0,311	1,000	0,074	-0,047	0,393
	0,001	<,0001	0,002	0,010	0,007	-	0,530	0,692	0,001
pH	-0,040	0,074	-0,121	0,132	0,196	0,074	1,000	0,800	0,349
	0,731	0,532	0,303	0,258	0,097	0,530	-	<,0001	0,002
SMP	0,253	0,144	0,001	0,135	0,222	-0,047	0,800	1,000	0,347
	0,029	0,222	0,990	0,250	0,060	0,692	<,0001	-	0,002
Ca+Mg	0,052	-0,102	0,147	0,205	0,261	0,393	0,349	0,347	1,000
	0,658	0,387	0,210	0,078	0,026	0,001	0,002	0,002	-
Ca	-0,022	-0,193	0,201	0,195	0,247	0,497	0,314	0,257	0,969
	0,852	0,099	0,087	0,093	0,035	<,0001	0,006	0,026	<,0001
Mg	0,175	0,086	0,020	0,194	0,248	0,140	0,350	0,450	0,896
	0,132	0,468	0,866	0,095	0,034	0,232	0,002	<,0001	<,0001
PT	-0,194	-0,492	0,428	0,079	0,055	0,456	-0,213	-0,170	0,077
	0,095	<,0001	0,000	0,499	0,645	<,0001	0,067	0,144	0,514
MI	0,107	0,409	-0,398	-0,138	-0,135	-0,367	0,168	0,070	-0,085
	0,360	0,000	0,001	0,239	0,256	0,001	0,150	0,553	0,468
MA	-0,169	-0,470	0,423	0,113	0,095	0,434	-0,199	-0,128	0,078
	0,147	<,0001	0,000	0,333	0,425	<,0001	0,087	0,274	0,508
Uv	-0,017	0,422	-0,487	-0,119	-0,133	-0,399	0,073	-0,043	-0,199
	0,884	0,000	<,0001	0,311	0,264	0,000	0,532	0,717	0,087
Ds	0,328	0,535	-0,383	0,001	0,040	-0,499	0,261	0,279	-0,013
	0,004	<,0001	0,001	0,991	0,738	<,0001	0,024	0,016	0,909
Dp	0,572	0,230	0,134	0,310	0,366	-0,245	0,211	0,463	0,241
	<,0001	0,048	0,253	0,007	0,002	0,035	0,069	<,0001	0,037
RP	0,214	0,387	-0,310	-0,210	-0,213	-0,395	0,239	0,164	0,050
	0,065	0,001	0,007	0,071	0,071	0,001	0,039	0,159	0,668

continua na próxima página. . . .

Apêndice 9. ... continuação

	Ca	Mg	PT	MI	MA	Uv	Ds	Dp	RP
AT	-0,022	0,175	-0,194	0,107	-0,169	-0,017	0,328	0,572	0,214
	0,852	0,132	0,095	0,360	0,147	0,884	0,004	<,0001	0,065
AN	-0,193	0,086	-0,492	0,409	-0,470	0,422	0,535	0,230	0,387
	0,099	0,468	<,0001	0,000	<,0001	0,000	<,0001	0,048	0,001
GF	0,201	0,020	0,428	-0,398	0,423	-0,487	-0,383	0,134	-0,310
	0,087	0,866	0,000	0,001	0,000	<,0001	0,001	0,253	0,007
DMP	0,195	0,194	0,079	-0,138	0,113	-0,119	0,001	0,310	-0,210
	0,093	0,095	0,499	0,239	0,333	0,311	0,991	0,007	0,071
DMG	0,247	0,248	0,055	-0,135	0,095	-0,133	0,040	0,366	-0,213
	0,035	0,034	0,645	0,256	0,425	0,264	0,738	0,002	0,071
CO	0,497	0,140	0,456	-0,367	0,434	-0,399	-0,499	-0,245	-0,395
	<,0001	0,232	<,0001	0,001	<,0001	0,000	<,0001	0,035	0,001
PH	0,314	0,350	-0,213	0,168	-0,199	0,073	0,261	0,211	0,239
	0,006	0,002	0,067	0,150	0,087	0,532	0,024	0,069	0,039
SMP	0,257	0,450	-0,170	0,070	-0,128	-0,043	0,279	0,463	0,164
	0,026	<,0001	0,144	0,553	0,274	0,717	0,016	<,0001	0,159
CAMG	0,969	0,896	0,077	-0,085	0,078	-0,199	-0,013	0,241	0,050
	<,0001	<,0001	0,514	0,468	0,508	0,087	0,909	0,037	0,668
CA	1,000	0,760	0,145	-0,096	0,122	-0,224	-0,092	0,190	0,024
	-	<,0001	0,214	0,411	0,296	0,054	0,430	0,103	0,839
MG	0,760	1,000	-0,059	-0,049	-0,016	-0,124	0,132	0,299	0,085
	<,0001	-	0,616	0,678	0,890	0,290	0,261	0,009	0,467
PT	0,145	-0,059	1,000	-0,890	0,978	-0,877	-0,967	-0,028	-0,675
	0,214	0,616	-	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	0,814	<,0001
MI	-0,096	-0,049	-0,890	1,000	-0,962	0,863	0,848	-0,015	0,668
	0,411	0,678	<,0001	-	<,0001	<,0001	<,0001	0,899	<,0001
MA	0,122	-0,016	0,978	-0,962	1,000	-0,896	-0,943	-0,012	-0,691
	0,296	0,890	<,0001	<,0001	-	<,0001	<,0001	0,918	<,0001
UV	-0,224	-0,124	-0,877	0,863	-0,896	1,000	0,820	-0,077	0,585
	0,054	0,290	<,0001	<,0001	<,0001	-	<,0001	0,514	<,0001
DS	-0,092	0,132	-0,967	0,848	-0,943	0,820	1,000	0,272	0,677
	0,430	0,261	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	-	0,018	<,0001
DP	0,190	0,299	-0,028	-0,015	-0,012	-0,077	0,272	1,000	0,105
	0,103	0,009	0,814	0,899	0,918	0,514	0,018	-	0,370
RP	0,024	0,085	-0,675	0,668	-0,691	0,585	0,677	0,105	1,000
	0,839	0,467	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	0,370	-

AT = Argila total; AN = Argila natural; GF = Grau de floculação; DMP = Diâmetro médio ponderado; DMG = Diâmetro médio geométrico; CO = Carbono orgânico; pH = pH em água; SMP = pH SMP; Ca+Mg = Cálcio + Magnésio; Ca = Cálcio; Mg = Magnésio; PT = Porosidade total; MI = Microporosidade; MA = Macroporos; Uv = Umidade volumétrica; Ds = Densidade do solo; Dp = Densidade de partícula; RP = Resistência ao penetrômetro.