

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE, UNICENTRO-PR

**PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO E
PRODUTIVIDADE DE SOJA EM SUCESSÃO A
PLANTAS DE COBERTURA DE INVERNO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

EMMANUEL SANCHEZ

GUARAPUAVA-PR

2012

EMMANUEL SANCHEZ

**PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO E PRODUTIVIDADE DE SOJA
EM SUCESSÃO A PLANTAS DE COBERTURA DE INVERNO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

Prof^ª. Dr^ª. Aline Marques Genú
Orientadora

Prof. Dr. Marcio Furlan Maggi
Co-Orientador

GUARAPUAVA-PR

2012

EMMANUEL SANCHEZ

**PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO E PRODUTIVIDADE DE SOJA
EM SUCESSÃO A PLANTAS DE COBERTURA DE INVERNO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

Aprovado em 11 de junho de 2012.

Prof^a. Dr^a. Aline Marques Genú – UNICENTRO
Orientadora

Prof. Dr. Marcio Furlan Maggi – UNIOESTE
Co-Orientador

Prof. Dr. Marcelo Marques Lopes Müller – UNICENTRO

GUARAPUAVA-PR

2012

Aos meus pais Sylvio (*in memoriam*) e Idite por serem o alicerce de minha caminhada, a minha esposa Mariel e aos meus filhos, pelo incentivo na realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me permitir chegar até aqui;

Aos Professores Marcio Furlan Maggi e Aline Marques Genú, pela valiosa orientação;
À UNICENTRO e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela oportunidade de realizar o curso de Mestrado;

Aos colegas, amigos e companheiros de caminhada por todas as vezes que, sem medir esforços, contribuíram na realização deste trabalho e pela amizade;

À professora Cirlene Bernardim, pela dedicação na revisão dos artigos;

Aos acadêmicos Rodnei dos Santos, Elanir Parizotto e Alex Kronemberger Sanchez, no auxílio a campo e nos laboratórios;

A todos vocês, meu sincero agradecimento.

SUMÁRIO

Lista de Símbolos e Abreviaturas	i
Lista de Figuras	ii
Lista de Tabelas	iii
Resumo	iv
Abstract	v
1. Introdução	1
2. Objetivos	2
2.1. Geral.....	2
2.2. Específicos.....	2
3. Referencial Teórico	3
3.1. Sistema de rotação de culturas e o cultivo de soja	3
3.2. Plantas de cobertura	5
3.2.1. Aveia Preta	7
3.2.2. Azevém	8
3.2.3. Nabo forrageiro	9
3.2.4. Ervilhaca	9
3.3. Constituição e propriedades físicas do solo	10
3.3.1. Porosidade do solo	11
3.3.2. Densidade e resistência do solo a penetração	12
3.4. Plantas de cobertura nas propriedades físicas do solo	13
3.5. Acúmulo de biomassa vegetal seca	15
4. Materiais e Métodos	19
4.1. Caracterização do local do experimento	19
4.2. Delineamento experimental e instalação do experimento	21
4.3. Amostragens e análises realizadas	22
4.3.1. Análises físicas do solo	23
4.3.2. Quantificação da biomassa vegetal seca	24
4.3.3. Avaliação da produtividade de soja	25
4.4. Análises estatísticas	25
5. Resultados e Discussão	26
5.1. Biomassa vegetal das plantas de cobertura	26
5.2. Propriedades físicas do solo	27
5.3. Produtividade de grãos de soja	33
6. Conclusões	35
7. Referências Bibliográficas	36

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

<i>LBd</i>	Latossolo Bruno distrófico
<i>CEDETEG</i>	Campus da Unicentro
<i>Unicentro</i>	Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná
<i>Unioeste</i>	Universidade Estadual do Oeste do Paraná
<i>MPa</i>	Mega Pascal (1 MPa = 10,19 Kgf cm ⁻²)
<i>EMBRAPA</i>	Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias
<i>C</i>	Carbono
<i>Cfb</i>	Clima temperado úmido com verão temperado
<i>PNRT</i>	Programa para Cálculo da Resistência do Solo ao Penetrômetro de Impacto
<i>IAPAR</i>	Instituto Agrônômico do Paraná
<i>SEAB</i>	Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Paraná
<i>DERAL</i>	Departamento de Economia Rural - SEAB
<i>ANOVA</i>	Análise de Variância

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização geográfica do município de Guarapuava-PR.....	19
Figura 2 - Distribuição da precipitação pluvial nos meses de abril a dezembro de 2010 e no primeiro trimestre de 2011.....	20
Figura 3 - Distribuição a campo das parcelas do experimento.....	22
Figura 4 - Coleta dos dados de resistência a penetração do solo nas parcelas de ervilhaca (<i>Vicia sativa</i> L.).....	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados de análises das características do solo próximo ao local do experimento	20
Tabela 2 - Biomassa vegetal seca das diferentes espécies de plantas de cobertura de inverno no estágio de florescimento.....	26
Tabela 3 - Densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total avaliados antes da instalação do experimento, e após o cultivo com diferentes espécies de plantas de cobertura de inverno no estágio de florescimento	28
Tabela 4 - Relação Micro/Macroporosidade do solo, em função das plantas de cobertura e camada avaliada do solo cultivado com diferentes espécies de plantas de cobertura de inverno no estágio de florescimento.....	31
Tabela 5 - Resistência do solo cultivado com diferentes espécies de plantas de cobertura de inverno no estágio de florescimento. Umidade gravimétrica de 29%.....	32
Tabela 6 - Produtividade da cultura de soja (Mg ha⁻¹) em sucessão das diferentes espécies de plantas de cobertura de inverno.....	33

RESUMO

Autor: Emmanuel Sanchez. Título: Propriedades físicas do solo e produtividade de soja em sucessão a plantas de cobertura de inverno.

As alterações das propriedades físicas dos solos agrícolas afetam a produtividade das culturas. Este trabalho objetivou comparar resultados obtidos com plantas de cobertura de inverno, em seu primeiro ciclo de cultivo, nas propriedades físicas do solo, na produtividade de soja (*Glycine Max* L.) em sucessão e biomassa vegetal. Foram utilizadas quatro espécies de plantas de cobertura de solo: ervilhaca (*Vicia sativa* L.), nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.), azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) e aveia preta (*Avena strigosa* Schreb). Foi desenvolvido em Guarapuava, PR, no *Campus* CEDETEG da Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO). Realizou-se o acompanhamento de um ciclo destas culturas no outono/inverno de 2010. Os dados de resistência do solo foram obtidos com o penetrômetro de impacto; e a densidade do solo, microporosidade, macroporosidade e porosidade total do solo, foram determinadas através de amostras de solo não deformadas, em anéis volumétricos, retiradas nas camadas de 0,00 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m de profundidade, logo após a instalação das culturas de cobertura e no seu período de maior desenvolvimento (floração). Observou-se que a utilização de plantas de cobertura, no seu primeiro ciclo de cultivo, não promoveu alterações na densidade do solo, microporosidade, porosidade total e resistência do solo a penetração. Entretanto, na camada de 0,10 a 0,20 m foram verificados maiores valores de macroporosidade nos tratamentos de aveia e azevém. A cultura do nabo forrageiro apresentou a melhor produção de biomassa vegetal, e a produtividade de soja foi semelhante após o ciclo de todas as plantas de cobertura.

Palavras-Chave: densidade do solo, biomassa seca, cobertura de solo.

ABSTRACT

Author: Emmanuel Sanchez. Title: Physical properties of soil and soybean productivity in succession of cover plants.

Changes in physical properties of agricultural soils affect crop productivity. This study aimed to compare results obtained winter cover plants, in its first crop cycle, in soil physical properties, in soybean productivity (*Glycine max* L.) in succession and biomass plant. Four species of soil cover plants were used: vetch (*Vicia sativa* L.), radish (*Raphanus sativus* L.), ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam) and black oat (*Avena strigosa* Schreb). It was developed in Guarapuava, PR, in CEDETEG *Campus* of Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO). It was carried out the monitoring of a cycle of these crops in the fall/winter of 2010. The soil strength data were obtained with the impact penetrometer, and the soil density, microporosity, macroporosity and soil total porosity were determined from undeformed soil samples in volumetric rings withdrawn at 0,00 - 0.10 and 0,10 - 0.20m depth, after installation of the experiment and its period of greatest development (flowering). It was observed that the use of cover plants in its first crop cycle do not promote changes in soil density, microporosity, total porosity and soil penetration resistance. Meanwhile in the deep of 0,10 and 0,20m it has been seen higher numbers of macroporosity in oats and ryegrass handlings. The crops of radish presented the best production of vegetal biomass, and soybean productivity was similar after the cycle of all the cover plants.

Keywords: soil density, dry biomass, soil cover.

INTRODUÇÃO

As culturas utilizadas como coberturas protetoras dos solos, desempenham importante função na recuperação ou manutenção das qualidades físicas do solo, porque podem promover proteção sobre as variações de temperatura, particularmente próximo da superfície, podendo alterar consideravelmente o ambiente para o desenvolvimento da sua flora e fauna, sendo importante para o aumento da porosidade do solo, além de incorporarem grande quantidade de matéria orgânica, contribuindo através da biomassa produzida, para o sequestro e fixação de carbono no solo.

A rotação de culturas com espécies que podem agir como subsoladores naturais é uma técnica muito utilizada, pois estas plantas possuem um sistema radicular agressivo capaz de romper camadas impeditivas em subsuperfície, melhorando a área para a semeadura das culturas comerciais. Esta técnica promove um grande aporte de resíduos, favorecendo o acúmulo de matéria orgânica ao solo e beneficiando em suas propriedades físicas, pois, segundo muitos autores, o indicador ideal sobre a qualidade de um sistema produtivo é a matéria orgânica do solo, que por sua vez está diretamente relacionada com as suas características físicas, químicas e biológicas.

De maneira geral, a escolha das espécies de plantas de cobertura que apresentam rápido crescimento inicial, tolerância ao alumínio tóxico, sistema radicular profundo e volumoso, produção de massa suficiente para a cobertura do solo e baixa taxa de decomposição é que favorecerá o grau de sucesso obtido com a utilização dessa prática.

O conhecimento e o entendimento dos efeitos de determinadas plantas de cobertura numa possível melhoria das condições físicas do solo, como porosidade, densidade e resistência a penetração, é de grande importância na busca da manutenção de áreas agrícolas com condições ideais para desenvolvimento das culturas comerciais.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

Estudar os efeitos do cultivo de plantas de cobertura de inverno nas propriedades físicas do solo, na produção de biomassa vegetal seca e na produtividade de soja (*Glycine Max* L.) em sucessão.

2.2. Específicos

Determinar quais espécies de cobertura mais contribuem com acréscimo de biomassa vegetal radicular e total.

Verificar os efeitos da aveia (*Avena strigosa* Schreb), azevém (*Lolium multiflorum* Lam.), nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) e ervilhaca (*Vicia sativa* L.), na densidade, porosidade e resistência a penetração do solo.

Comparar a produtividade de soja obtida em sucessão às plantas de cobertura.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Sistema de rotação de culturas e o cultivo de soja

Durante muito tempo a atividade agrícola apenas explorou os recursos naturais, com base no constante ciclo das culturas. Com o passar do tempo, começou um processo de resgate dos nutrientes que até então eram somente extraídos do solo, sem reposição. A prática de rotação de culturas surgiu então como potencial para melhorar esse aspecto, pois consiste em alternar espécies em uma mesma área, visando maior produtividade, bem como a recuperação física, química e biológica do solo (REZENDE et al., 2003). Segundo Medeiros e Calegari (2006), na rotação de culturas devem ser observados períodos mínimos sem o cultivo de uma mesma espécie na mesma área.

O conhecimento detalhado do histórico da área e o acompanhamento criterioso das atividades realizadas são fundamentos indispensáveis no estabelecimento de um esquema racional e compatível de rotação de culturas, utilizando plantas de cobertura em sucessão a culturas comerciais. Seus efeitos favoráveis podem ser percebidos em todo o sistema, a médio e longo prazo, sendo que as plantas de cobertura poderão ser implantadas em cultivo singular ou em associações (CALEGARI, 2002).

Ao analisar a importância da rotação de culturas e da adubação verde nos sistemas de produção de trigo-soja no Sul do Brasil, Derpsch et al. (1991), observaram que a maior produção de matéria seca foi obtida com aveia preta, quando comparada a outras espécies avaliadas, como o azevém, sendo que a menor infestação de plantas espontâneas foi verificada sob aveia preta e nabo forrageiro, deixando claro que estas espécies de plantas de cobertura são eficientes em reduzir a infestação por plantas espontâneas de inverno. Os mesmos autores avaliaram também o efeito residual dos adubos verdes sobre o rendimento das culturas comerciais em sucessão, tendo maior rendimento médio da soja quando sucedeu a aveia preta, sendo este rendimento da ordem de 41% maior do que os rendimentos médios dos outros tratamentos. Buscando avaliar o efeito de diferentes sistemas de preparo de solo e culturas de inverno sobre a população de plantas espontâneas na cultura da soja, Melhorança e Hernani (1997) obtiveram resultados mostrando que as áreas com aveia preta reduziram significativamente o número de plantas de trapoeraba (*Commelina bengalensis*) na soja.

A importância das plantas de cobertura fica evidente em trabalhos como os conduzidos por Pereira et al. (2000) e Almeida e Rodrigues (1991), onde o objetivo foi analisar os efeitos de preparo do solo e do controle de plantas espontâneas em resteva de aveia preta na cultura da soja, obtendo resultados significativos e positivos quando utilizada a aveia, deixando claro que o efeito da palhada contribuiu para a diminuição da população daninha, podendo ser isso devido aos efeitos supressores causados pelas diferenças nas condições físicas, químicas e/ou biológicas que se apresentam nos sistemas de cultivo em rotação com plantas de cobertura do solo.

A escolha das espécies utilizadas em sucessão é determinante no sucesso de um sistema de rotação (ARGENTA et al., 2001; OLIVEIRA et al., 2002). Segundo Ceretta et al. (2002), isso depende da manutenção de sistemas capazes de gerar quantidades de matéria seca suficientes para manter o solo coberto durante todo o ano, o que significa que áreas destinadas às culturas de primavera-verão, não devem permanecer em pousio durante o inverno. Assim, Fontaneli (1991) e Aita et al. (2004) afirmam que as gramíneas têm papel importante na ciclagem de nutrientes e sobretudo, devido a ter uma alta relação C/N, possuem uma lenta decomposição, dando resultados significativos para adição duradoura de matéria seca ao solo.

A prática de rotação de culturas tem contribuído com o desenvolvimento da cultura de soja, que evoluiu muito e acabou sendo utilizada em todo o país. As lavouras de grãos do Brasil abrangem atualmente uma área de 48 milhões de hectares, sendo que a cultura de soja foi plantada em 24,08 milhões de hectares na safra 2010/11 (CONAB, 2011). A safra de soja no país está oficialmente estimada entre 72,18 e 73,29 milhões de toneladas para 2011/2012, situado abaixo do recorde de 75,3 milhões de toneladas do ciclo anterior (COOPLANTIO, 2011). Isso coloca esta cultura como uma das principais atividades do agronegócio brasileiro, tendo sua tecnologia de produção atualizada constantemente.

Por ser uma cultura de verão, nos sistemas de rotação de culturas, as principais culturas de inverno antecessoras da soja são o trigo, a cevada e também as plantas de cobertura de inverno. Segundo Girardello (2010), alguns problemas atuais surgem na utilização dos sistemas de rotação com plantas de cobertura, mais associados às pressões econômicas que afetam os produtores do que a falta de conhecimento técnico. Uma das principais falhas é a não utilização de plantas com potencial de ciclagem de nutrientes e de descompactação do solo, pois na sua maioria, segundo o autor, estas culturas não apresentam

retorno financeiro direto e imediato ao produtor, que se vê obrigado a fazer o plantio de monoculturas comerciais como o trigo (*Triticum aestivum*), soja (*Glycine max* L.) e o milho (*Zea mays*).

3.2. Plantas de cobertura

As plantas de cobertura do solo entram no processo de rotação proporcionando efeitos positivos, como supressão de plantas espontâneas, conservação da umidade do solo, acúmulo de nutrientes na superfície e controle da erosão (SANTOS e REIS, 2001).

Estas plantas, também denominadas por adubos verdes, plantas protetoras e melhoradoras do solo ou simplesmente plantas de cobertura, são cultivadas exclusiva ou parcialmente para esta finalidade de cobertura. Seus resíduos são depositados no solo, protegendo-o do impacto das gotas da chuva e liberando nutrientes para as próximas culturas. Ferreira et al. (2000) afirmam que qualquer espécie vegetal pode ser utilizada como planta de cobertura, porém, considerando-se as características desejadas, algumas espécies devem ser prioritárias para integrar um sistema de produção, destacando-se as características: sistema radicular profundo para facilitar a reciclagem de nutrientes; elevada produção de massa seca, tanto da parte aérea quanto radicular; velocidade de crescimento e de cobertura do solo; ser agressiva e rústica; possuir baixo custo de sementes ou apresentar facilidade em sua produção; possuir efeitos alelopáticos e/ou supressores em relação às plantas não cultivadas.

Segundo Capeche et al. (2008) e Rossi et al. (2002), os benefícios das plantas de cobertura podem ser ainda complementados, como na manutenção de elevadas taxas de infiltração de água pelo efeito combinado do sistema radicular e da cobertura vegetal; promoverem grande e contínuo aporte de massa vegetal ao solo, de maneira a manter, ou até mesmo elevar o teor de matéria orgânica; atenuarem a amplitude térmica e diminuir a evaporação, e assim apresentando múltiplos usos na propriedade rural.

Quando na rotação de culturas são utilizadas as Fabáceas (leguminosas), consegue-se também incorporar nitrogênio ao solo, pois as mesmas têm capacidade de fixar o N atmosférico em simbiose com *Rhizobium* (PAVINATO et al., 1994; AITA e GIACOMINI, 2003, CALEGARI et al., 1993), reduzindo os custos com fertilizantes nitrogenados. Segundo Rossi et al. (2002), estas plantas (Fabáceas) fixam por ano em média 188 Kg de N ha⁻¹. Já as

Poáceas, como possuem um sistema radicular abundante e volumoso, conseguem estruturar o solo ao mesmo tempo em que aumentam o aporte de matéria orgânica.

Atualmente, o conceito de plantas de cobertura tem evoluído para, não somente a incorporação da massa produzida, mas também, como participante do processo de conservação do solo, através da prática de rotação de culturas, sucessão ou consorciação, sendo deixada na superfície do solo, sem incorporação, e deste modo visando a proteção do solo contra as variações de temperatura, impacto das gotas da chuva e ação dos ventos (TAVARES et al., 2008).

De acordo com resultados de Phillips e Young (1973), citados por Ferreira et al. (2000), com uma quantidade de cobertura morta superior a 1000 Kg ha⁻¹, as perdas de solo são praticamente nulas e possibilita quase a totalidade da infiltração de água. No entanto afirmam que este efeito pode ser anulado ou diminuído se existir alguma camada compactada no solo.

Estudos conduzidos por Derpsch et al. (1991), utilizando resíduos de aveia preta, constataram menor amplitude na temperatura do solo na profundidade de 3 cm, no plantio direto, em comparação com o plantio convencional, onde a temperatura chegou a alcançar mais de 45°C. Os autores concluem afirmando que este aspecto é importante em função dos efeitos negativos causados pelas altas temperaturas sobre a atividade microbiana, germinação de sementes, desenvolvimento das raízes e parte aérea e nas perdas de água por evaporação.

Para fins de classificação, estas plantas são agrupadas em estações do ano que são mais utilizadas e a necessidade específica dos efeitos almejados. As plantas de cobertura de primavera/verão são semeadas no período de outubro a janeiro, sendo as principais espécies utilizadas a mucuna anã (*Mucuna deeringiana* (Bort. Merr.)), mucuna cinza (*Mucuna cinerea*, sin. *Stizolobium cinereum*), mucuna preta (*Mucuna aterrima*, sin. *Stizolobium aterrimum* Piper e Tracy), feijão de porco (*Canavalia ensiformis*, DC), guandu (*Cajanus cajan*), milheto (*Pennisetum glaucum* L.), feijão lab-lab (*Lab lab purpureus* (PRAIN) Kumari, sin. *Dolichos lablab* L.), girassol (*Helianthus annuus*) e as várias crotalárias (*Crotalaria juncea* L.) (ROSSI et al., 2002).

Estas espécies possuem a vantagem da grande produção de massa verde, elevada quantidade de nitrogênio fixado biologicamente e a cobertura do solo durante os períodos de chuvas de alta intensidade, sendo o maior inconveniente, a ocupação do solo durante o

período no qual são cultivadas as principais culturas comerciais de verão. Mas, para atenuar este problema, recomenda-se subdividir a propriedade em glebas e utilizar as plantas de cobertura de forma escalonada (TAVARES et al., 2008).

As plantas de outono/inverno geralmente são semeadas na entressafra das principais culturas comerciais (ROSSI et al., 2002) sendo que as principais espécies são a ervilhaca (*Vicia sativa* L.), tremoço comum (*Lupinus albus* L.), nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.), azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) e aveia preta (*Avena strigosa* Schreb), pois elas protegem os solos agrícolas na entressafra, diminuindo a infestação de plantas espontâneas, redução da lixiviação de nutrientes e condicionamento físico do solo.

O plantio das espécies de cobertura pode ser em áreas que entrarão em pousio ou antecedendo uma cultura comercial, podendo também ser intercalada com as culturas, consorciadas, em faixas ou em sucessão (GUERREIRO, 2002). Mas, para o sucesso no emprego das plantas de cobertura no manejo de solo, é fundamental considerar os conhecimentos com profundidade, nos detalhes referentes à espécie a ser utilizada, condições edafo-climáticas específicas, e sistemas de produção em curso, bem como as finalidades do plantio, como o aumento de carbono orgânico no solo, suprimento de nitrogênio, descompactação, diminuição de pragas e doenças, supressão de espontâneas ou agregação do solo (CALEGARI, 2002).

3.2.1. Aveia preta

A origem da aveia cultivada, assim como a de todos os cereais, se perdeu na antiguidade. O trigo e a cevada foram inicialmente mais importantes do que a aveia para o homem, e existem evidências de que este cereal persistiu como planta espontânea nas lavouras por séculos, antes de vir a tornar-se uma espécie cultivada. Atualmente, a aveia constitui um dos principais cereais, juntamente com o trigo, milho e cevada, representada por um grupo de espécies do gênero *Avena*, que possui adaptação ecológica mais ampla do que a do trigo e da cevada (TAVARES et al., 1993).

É uma gramínea anual, pertencente à família *Poaceae*, tribo *Aveneae* e gênero *Avena*. Este gênero compreende várias espécies silvestres, daninhas e cultivadas, distribuídas em seis

continentes. Aparentemente a *Avena sativa* teve origem na Ásia, enquanto que a *A. byzantina* e a *A. sterilis* no Mediterrâneo e Oriente Médio (ARRUDA, 2011). As aveias branca (*Avena sativa* L.) e amarela (*Avena byzantina* Koch) se destinam à produção de grãos de alta qualidade industrial, enquanto que a *A. strigosa* destina-se à produção de forragem verde e cobertura de solo.

A aveia preta é uma planta rústica, exigente em água, com excelente capacidade de perfilhamento, produção de massa verde e resistente a pragas e doenças (MONEGAT, 1991). É também chamada de aveia forrageira por produzir mais forragem que a aveia branca e amarela, sendo muito cultivada para cobertura do solo em áreas de cultivos comerciais e também para corte e fornecimento aos animais no cocho (EMBRAPA, 2006). É uma Poacea que cresce e se desenvolve rapidamente, auxiliando no controle de erosão e das plantas espontâneas (PEREIRA et al., 2011). Este destaque da aveia é merecido, segundo Rabelo (1991), pelo fato da elevada disponibilidade de sementes, sua rusticidade e economia na implantação da cultura. É uma excelente forrageira para o período de inverno, servindo tanto para o pastoreio como para corte e ensilagem, sendo uma das plantas preferidas para dar cobertura ao solo em período de entressafra, também diminuindo a pressão de diversas espécies de invasoras, tanto pela sua cobertura plena quanto por apresentar forte efeito alelopático (KISSMANN, 1991).

O plantio é realizado entre abril e meados de maio na Região Sul, sendo a quantidade de sementes de 60 Kg por hectare, e feita em sulcos espaçados em 20 cm, com população média de 300 plantas m⁻² e as sementes distribuídas a uma profundidade máxima de 5 cm, atingindo uma cobertura plena do solo entre 45 a 60 dias, e inicia sua floração aos 100 dias (MONEGAT, 1991). A produção média de massa seca desta espécie é de 6 a 8 Mg ha⁻¹ (CALEGARI, 2002).

3.2.2. Azevém

O azevém é uma gramínea anual, cespitosa, que possui folhas finas e tenras, cujo porte chega a atingir 1,2 metros de altura (MONEGAT, 1991). É rústica, agressiva e perfilha em abundância, razão pela qual é uma das gramíneas hibernais mais cultivadas no sul do país, tanto para corte como para pastagens, sendo adaptada a temperaturas baixas, desenvolvendo-

se somente durante o inverno e a primavera (EMBRAPA, 2006). Devido a sua grande capacidade de ressemeadura natural, permanece na área de um ano para outro, sendo a época de plantio concentrada entre março e abril, com espaçamento de 20 cm entre-linhas, utilizando 25 Kg de sementes por hectare, atingindo uma cobertura plena do solo entre 50 a 60 dias, com população média de 600 plantas m^{-2} , iniciando sua floração aos 100 dias. (EMBRAPA, 2006; MONEGAT, 1991). A produção média de massa seca desta espécie é de 6 a 8 Mg ha^{-1} (CALEGARI,2002).

3.2.3. Nabo forrageiro

O nabo forrageiro é uma planta da família das Crucíferas, muito utilizada para adubação verde no inverno, rotação de culturas e alimentação animal, sendo uma planta muito vigorosa, que em 60 dias cobre cerca de 70% do solo (COSTA et al., 1992). Seu sistema radicular é pivotante, bastante profundo, atingindo em média 40 cm, com o florescimento ocorrendo entre 65 a 75 dias após o plantio, atingindo sua plenitude aos 100 dias, com a altura variando de 1,00 a 1,60 m e, devido ao seu rápido crescimento, compete com as plantas espontâneas desde o início, diminuindo os gastos com herbicidas ou capinas, o que facilita a cultura seguinte (MONEGAT, 1991). É excelente para cobertura do solo no inverno produzindo grande volume de palha para a prática do plantio direto, sendo a recomendação de 15 Kg ha^{-1} de sementes, com população média de 60 plantas m^{-2} (COSTA et al., 1992). A produção média de massa seca desta espécie é de 2 a 5 Mg ha^{-1} (CALEGARI, 2002).

3.2.4. Ervilhaca

A ervilhaca comum é uma leguminosa forrageira muito utilizada como adubo verde, pois permite consórcio com gramíneas, produz forragem de elevado teor proteico e de boa palatabilidade, tendo ciclo mais curto que a ervilhaca peluda, florescendo aos 100-130 dias (MONEGAT, 1991). Esta espécie desenvolve-se em solos corrigidos ou já cultivados, com bons teores de cálcio, fósforo e sem problemas de acidez, podendo ser empregada como forrageira para animais ou como planta de cobertura, podendo ser consorciada com aveia

(*Avena strigosa* Schreb) ou centeio (*Secale cereale* L.) (EMBRAPA, 2006). É recomendada para o cultivo principalmente antecedendo milho (aporte de 80 a 100 kg de nitrogênio ha⁻¹), mas também é utilizada antes de soja (*Glycine max* (L) Merrill), arroz (*Oryza sativa* L.) e sorgo (*Sorghum bicolor* Mench), onde recomenda-se 50 kg ha⁻¹ de sementes, sendo o espaçamento de 50 cm entre linhas com 100 a 120 sementes m⁻², e população média de 100 plantas m⁻² (EMBRAPA, 2006; MONEGAT, 1991). A produção média de massa seca desta espécie é de 2 a 5 Mg ha⁻¹ (CALEGARI,2002).

3.3. Constituição e propriedades físicas do solo

Os solos são constituídos de uma mistura de partículas sólidas de natureza mineral e orgânica, também de ar e água, formando um sistema trifásico: sólido, gasoso e líquido. As partículas da parte sólida variam em tamanho, forma e composição química, sendo sua combinação o que forma a matriz do solo. A distribuição quantitativa das partículas de areia, silte e argila, desta composição da matriz, formam a textura do solo, que é uma das características físicas mais estáveis. Esta fase sólida mineral do solo, composta de partículas de areia, silte e argila, normalmente, estão reunidas pela ação de agentes cimentantes, formando as unidades estruturais do solo, sendo os principais os minerais de argila, a matéria orgânica e os óxidos de ferro e alumínio (CAMARGO e ALLEONI, 1997).

A matéria orgânica do solo é formada por resíduos vegetais e animais que são decompostos por microorganismos, formando o húmus, que participa da estruturação do solo e da retenção de água (LEPSCH, 2002). A fração orgânica ocorre no solo em diferentes estágios de decomposição, contando, ainda, com organismos vivos e em atividade (REICHARDT, 1990).

O solo é a base fundamental dos sistemas de produção agrícola, e as alterações nas suas propriedades e que afetem a sustentação do crescimento vegetal, e, conseqüentemente o rendimento das culturas, causam impactos diretos para o produtor rural. Então, é necessidade premente buscar alternativas que sejam sustentáveis ao longo do tempo, de forma que melhorem ou mantenham uma estrutura física capaz de exercer as suas funções para o crescimento e ancoragem das raízes, bem como favorecer o suprimento de água, oxigênio e

nutrientes (BLAINSKI et al., 2008). Afirma Prevedello (1996) que, para manter um solo produtivo, bem como adequar determinadas estratégias de manejo, é importante que sejam analisadas suas propriedades físicas de porosidade, densidade e resistência, na medida em que elas afetam a resposta das culturas.

3.3.1. Porosidade do solo

O arranjo das partículas sólidas do solo, em vários tipos de agregados, forma a estrutura do solo, que apresenta porosidade. Segundo Curi et al. (1993), a porosidade do solo corresponde ao volume do solo não ocupado por partículas sólidas, incluindo todo o espaço poroso ocupado pelo ar e água. Este volume resulta na porosidade total do solo, subdividida em macroporos e microporos.

Entre as partículas maiores como a areia, ou entre agregados, predominam poros grandes (macroporos); entre partículas pequenas como a argila, predominam poros pequenos (microporos) (VIEIRA et al., 1988). Segundo Lima e Lima (1996), os macroporos são responsáveis pela aeração, movimentação de água e penetração de raízes, e os microporos pela retenção de água no solo. Para Reinert e Reichert (2006), a porosidade é responsável por um conjunto de fenômenos e desenvolve uma série de mecanismos de importância na física de solos, tais como a retenção e fluxo de água e ar.

Os macroporos são descritos por Lal e Shukla (2004) em termos do diâmetro, especificado em cinco classes de tamanho, comumente usados em levantamentos de solos, sendo: muito pequenos (< 0,5 mm), pequenos (0,5 – 2,0 mm), médios (2,0 – 5,0 mm), grosseiros (5,0 – 10,0 mm) e muito grosseiro (> 10,0 mm). Segundo EMBRAPA (1997), macroporos muito pequenos chegam até a 0,05 mm de diâmetro, sendo os poros menores que estes considerados microporos.

A porosidade do solo e a relação entre a macroporosidade e microporosidade são fatores importantes para a avaliação da estrutura do solo. A microporosidade está relacionada com o armazenamento de água no solo, influenciando o desenvolvimento das plantas, especialmente nas épocas críticas de suprimento hídrico (VEIGA, 2005 citado por JESUS, 2006). Em solo compactado, o número de macroporos é reduzido, os microporos são em

maior quantidade e a densidade também é maior (JIMENEZ et al., 2008). Ademais, segundo Beutler e Centurion (2003), a quantidade de macroporos influencia no crescimento das raízes e na absorção de água e nutrientes, e sua redução induz ao crescimento lateral de raízes, que diminuem seu diâmetro a fim de penetrarem nos poros menores.

Como o solo é um material poroso, por compressão, a mesma massa de material sólido pode ocupar um volume menor. Isto afeta sua estrutura, definindo a quantidade, o tamanho, o formato e a orientação de espaços vazios no solo e, conseqüentemente, a relação entre macro e microporos e a continuidade da macroporosidade (REICHARDT, 1990). Essa modificação pode ser atribuída à diminuição da porosidade total e da macroporosidade (RICHARDT et al., 2005) e ao aumento da microporosidade (MACHADO e FAVARETTO, 2006). Em trabalho desenvolvido para avaliar possíveis alterações em atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo, após o cultivo de um ano com plantas de cobertura, Santos et al. (2009), concluíram que a cobertura vegetal influenciou significativamente os valores da microporosidade, entretanto não afetou nenhum outro atributo estudado (densidade do solo, macroporosidade e porosidade total).

3.3.2. Densidade e resistência do solo a penetração

A densidade do solo é um importante atributo físico dos solos, por fornecer indicações a respeito do estado de sua conservação, sobretudo em sua influência em propriedades como infiltração e retenção de água no solo, desenvolvimento de raízes, trocas gasosas e suscetibilidade deste solo aos processos erosivos, sendo muito utilizado na avaliação da compactação dos solos (GUARIZ et al., 2009). A elevação da densidade do solo prejudica o desenvolvimento das plantas, ocasionando aumento da resistência mecânica à penetração de raízes, altera a movimentação de água e nutrientes e a difusão de oxigênio e outros gases, levando ao acúmulo de gás carbônico na área radicular (MAPFUMO et al., 1998; ISHAQ et al., 2001).

A densidade do solo é dependente do espaço poroso, portanto, solos com maior porosidade têm menor densidade, e dessa maneira, todos os fatores que interferem no espaço poroso irão interferir na densidade do solo (MACHADO e FAVARETTO, 2006), como a natureza, a dimensão das partículas e a forma como se acham dispostas (CAMARGO e

ALLEONI, 1997).

Relacionando com as classes texturais de solos, Sá e Junior (2005) afirmam que os solos arenosos apresentam valores de densidade naturalmente mais elevados em relação aos solos argilosos, exemplificando uma densidade de $1,5 \text{ g cm}^{-3}$, que em solo argiloso pode significar um elevado grau de compactação, enquanto que em um solo arenoso não significa este problema. Segundo Klein (2008), a densidade do solo descreve o estado da estrutura do solo e é também denominada por “densidade global”, ou “densidade aparente”, e suas unidades mais comuns são: g cm^{-3} , Kg dm^{-3} e Mg m^{-3} .

A resistência mecânica do solo à penetração é apontada como um dos fatores limitantes ao desenvolvimento e estabelecimento das culturas, pois ela expressa o grau de compactação do solo (RICHARDT et al., 2005). Trabalhos como de Genro Junior et al. (2004) destacam a importância da verificação da resistência à penetração (RP) na identificação de camadas compactadas no solo. No entanto, diversas restrições têm sido apresentadas com relação à indicação de valores críticos de RP para o desenvolvimento de plantas (SINNETT et al., 2008), sendo os principais motivos advindo da influência da umidade, da densidade e da textura do solo nos dados obtidos.

Meroto Junior e Mundstock (1999) verificaram que a RP de 2,00 MPa ocasionou redução da massa de matéria seca de raízes, da parte aérea e do comprimento radicular do trigo. Beutler e Centurion (2004) observaram que o diâmetro médio e a massa de matéria seca de raízes de soja aumentaram até um valor de RP de 2,07 MPa e 1,99 MPa, respectivamente. No entanto, De Maria et al. (1999) relataram que uma RP de 2,09 MPa, avaliada a campo, poderia determinar a redução do crescimento radicular de soja.

Possíveis indicativos de compactação, verificada pelos dados de RP, são processos importantes, principalmente quando demonstram limites críticos, ou seja, quando o solo diminui a quantidade de água disponível e prejudica o crescimento radicular, confinando as raízes acima da camada compactada ou em partes do perfil, diminuindo assim o volume de solo explorado pelas raízes, a quantidade de ar, água e nutrientes disponíveis, limitando a produtividade das culturas (GENRO JUNIOR, 2009).

3.4. Plantas de cobertura nas propriedades físicas do solo

O sistema radicular das culturas exige um suprimento adequado de oxigênio para manter seu funcionamento fisiológico, pois as raízes realizam trocas gasosas por meio de um sistema poroso que também deve assegurar um suprimento adequado de nutrientes e água (TORRES e SARAIVA, 1999). Segundo Collares (2005), o sistema de manejo de solos na agricultura afeta sua estrutura, alterando o arranjo de agregados e, por conseguinte, as mudanças na porosidade se refletem nos fluxos de água e ar. Entre estas alterações, a compactação do solo se destaca nos sistemas de produção agrícola mecanizados.

Alterações ocorridas neste meio promovem modificações no potencial produtivo das culturas, como verificaram Jimenez et al. (2008), demonstrando, em solo compactado, a redução no número de macroporos e a maior densidade, resultando, quando em um solo seco, uma maior resistência física ao crescimento das raízes e decréscimo do potencial de água, enquanto que em solo úmido, observou a falta de oxigênio e elevadas concentrações de etileno na zona radicular, gerando modificações morfológicas e fisiológicas nas plantas na busca por uma adaptação; podendo provocar alterações nos níveis de produtividade das culturas, resultado da degradação de um sistema solo-planta que pode, com o passar do tempo e o manejo adequado, vir a ter seus efeitos prejudiciais minimizados.

Na prática, afirmam Lal e Shukla (2004), que a compactação do solo é um processo que leva à compressão de uma massa de solo, deformando em um menor volume, resultando em diminuição da macroporosidade, porosidade total, e redução no fluxo de água e trocas gasosas, sendo o grau ou gravidade da compactação do solo expresso em termos de densidade do solo, porosidade total e índice de vazios, sendo que esta diminuição do volume é basicamente às custas do ar que pode ser expulso ou comprimido no solo.

Autores como Tavares et al. (2008) definem compactação do solo como a redução do volume por ação de pressão externa, como tráfego de máquinas, implementos agrícolas ou pressão de cascos de animais, sendo que a profundidade varia com a causa, e para as máquinas em geral é de acordo com a profundidade de ação dos implementos (cerca de 20-30 cm); já a compactação causada por bovinos é mais superficial, em torno de 5-10 cm.

As operações com máquinas agrícolas pesadas também foram comentadas por Hakansson e Reeder (1994), salientando que existem várias técnicas mecânicas capazes de reduzir as alterações nas propriedades físicas do solo, entretanto sua utilização normalmente é

de custo elevado e raramente são capazes de corrigir totalmente os efeitos, principalmente da compactação. Os autores recomendam evitar a compactação através da minimização do carregamento mecânico sobre o solo, do que periodicamente descompactá-lo. Salientam ainda que, caso sejam aplicadas cargas excessivas após feita a descompactação do solo, este novamente apresentará compactação subsuperficial.

A recuperação das propriedades físicas do solo pode ser feita através de métodos mecânicos, com máquinas e implementos agrícolas; assim como por métodos chamados por biológicos, devido a serem utilizadas plantas e matéria orgânica para realizarem as correções necessárias nestas propriedades. Vários pesquisadores como Albuquerque et al. (1995); Cattelan et al. (1997) e Silva e Mielniczuk (1997a) ressaltam a importância da adoção de sistemas que envolvam menos mobilização do solo tais como: cultivo mínimo e semeadura direta, associados à rotação de culturas e à utilização de plantas de cobertura de inverno, na melhoria dos atributos físicos do solo. Inclusive, Albuquerque et al. (1995) afirmam que são necessários de três a quatro anos sob condições deste manejo, para o solo desenvolver uma porosidade mais favorável ao crescimento de raízes.

A cobertura vegetal tem papel fundamental para o solo, pois segundo Prado et al. (2002), a presença destes resíduos culturais na superfície do solo apresenta benefícios de ordem físico-química e biológica, proteção contra erosão, melhoria da reciclagem de nutrientes e efeitos alelopáticos sobre pragas e inibição da emergência de plantas espontâneas. Alvarenga et al. (2001) sustentam que a quantidade de 6 Mg ha⁻¹ de resíduos pode ser considerada adequada para uma boa cobertura do solo. Outros autores, como Camara et al. (2002), constataram que a operação de escarificação provocou uma incorporação superficial destes resíduos vegetais, reduzindo em 30% a cobertura do solo.

3.5. Acúmulo de biomassa vegetal seca

Os vegetais são os principais responsáveis pela adição ao solo de compostos orgânicos primários provenientes da fotossíntese, utilizando a energia solar, CO₂ da atmosfera, água e nutrientes do solo (RIBEIRO et al., 2011). Os organismos, com destaque aos microorganismos heterotróficos, obtêm energia para seu desenvolvimento pela decomposição de resíduos vegetais (fitomassa) e da matéria orgânica do solo (MOS), liberando CO₂ para a

atmosfera, nutrientes, e uma gama de compostos orgânicos secundários oriundos do metabolismo microbiano, os quais passam a compor a matéria orgânica do solo (VEZZANI, 2001).

Os estoques de MOS são determinados pela razão entre o aporte e perda do sistema de produção, sendo que as plantas, pela ação de seu sistema radicular (SILVA e MIELNICZUK, 1997b), e pelas hifas de fungos (MILLER e JASTROW, 1990) potencializam as interações na formação de agregados estáveis, principalmente pela aproximação de partículas, exsudações bem distribuídas na matriz do solo e união física de agregados de diferentes tamanhos. As interações com os minerais e a formação de agregados diminuem a ação dos microorganismos decompositores, contribuindo para o acúmulo de compostos orgânicos no solo, sendo este processo de proteção física da matéria orgânica mais intensa em solos não revolvidos (FELLER e BEARE, 1997; SIX et al., 1999). O estoque de matéria orgânica apresenta rápida queda quando o solo é submetido a sistemas de preparo com intenso revolvimento (SILVA et al., 1994), decorrente do aumento das perdas por erosão hídrica e oxidação microbiana.

A ampla utilização de plantas de cobertura pelos agricultores promove seqüestro de carbono atmosférico considerável, estando relacionado diretamente à importância da matéria orgânica do solo. O aumento desta quantidade de carbono fixado no solo pode ser incrementado nos sistemas de cultivo onde a biomassa vegetal não seja retirada das lavouras, afirmam autores como Bayer et al. (2004), Bertol et al. (2004) e Silva et al. (2006). Nestes sistemas de cultivo utiliza-se uma quantidade mínima de operações, desde o preparo do solo até os tratos culturais, necessários para criar condições à germinação da semente e o estabelecimento da cultura (CURI et al., 1993). O preparo do solo através do método de cultivo mínimo pode contribuir para a redução dos processos erosivos e manutenção da fertilidade natural dos solos, favorecendo consideravelmente a sua estrutura, além de proteger contra o impacto das gotas de chuva, em função do acúmulo da fitomassa após a colheita da cultura (SILVA et al., 2007).

Palmeira et al. (1999) constataram que a maior concentração de agregados estáveis em água, ocorreu nos sistemas de cultivo com mínima mobilização do solo, enquanto a menor concentração, ocorreu nos tratamentos com maior ação de máquinas e implementos, portanto maior atividade antrópica no solo. A cobertura vegetal no solo, de acordo com Andreola et al. (2000), influencia diretamente na agregação, na densidade, na retenção de água, na

porosidade e na aeração do solo. Isso tem sido relacionado ao avaliar o carbono orgânico presente nos diversos cultivos anuais ou perenes, principalmente com relação à estabilidade de agregados, onde o cultivo intensivo provoca a redução da estabilidade e proporciona o aumento da oxidação da matéria orgânica, e a perda de carbono para a atmosfera. Sendo assim, o ciclo do carbono na forma de matéria orgânica do solo, promove diretamente alterações na física do solo.

As propriedades de agregação do solo, responsáveis pela porosidade, que por sua vez favorece a infiltração de água, a aeração e a penetração de raízes, em grande parte devem-se à matéria orgânica, que, mesmo reconhecida como importante na agricultura, tem sido difícil evitar sua redução gradativa no solo, principalmente porque o seu teor no solo é resultado do equilíbrio entre adições de resíduos orgânicos e perdas por decomposição, e além disso, a aração e a gradagem do plantio convencional expõem o solo à oxidação, além de erosão, e dessa forma, também favorecem a perda de matéria orgânica do solo (CRUZ et al., 2002).

O estoque de carbono em solos agricultáveis assim como a ciclagem de compostos orgânicos é amplamente condicionado com as práticas de manejo e a manutenção de cobertura do solo durante o ano, com ênfase nos períodos de maiores precipitações e temperaturas, assim como, o aporte contínuo e abundante de resíduos vegetais, serve para contrabalancear a rápida decomposição realizada pelos organismos decompositores, além de contribuir para a manutenção dos estoques de carbono no solo (CONANT et al., 2001; LEIFELD e KOGEL-KNABNER, 2005; SILVA e MENDONÇA, 2007; BAYER e MIELNICZUK, 1999). Já nos sistemas agrícolas que não adicionam as plantas de cobertura, em cujo manejo não apresenta a deposição de palhada, além de não aumentarem a quantidade e estoque de carbono no solo, no momento da reforma, possibilitam perdas significativas por erosão, sendo a matéria orgânica carregada com as partículas de solo (GALDOS, 2007).

Em seis anos de experimento com diferentes sucessões em plantio direto conduzido por Gonçalves e Ceretta (1999), somente foram suficientes para promover acúmulos significativos de carbono orgânico na camada de 0 – 25 cm, sendo que a rotação com trevo azul e milho, promoveu a maior quantidade de carbono acumulado nos resíduos e o maior acúmulo de carbono orgânico no solo. Mas, em resultados de experimento conduzido por 20 anos, realizados por Hungria (2010), onde foram comparados solos em Plantio Direto (SPD) e o Plantio Convencional (PC) em profundidade até 60 cm, para condições da Região Sul do

Brasil, a maior diferença entre eles ocorreu nos primeiros 30 cm, havendo um incremento de 29% no teor de carbono total do solo para o SPD.

O uso de Fabáceas com grande diversidade de espécies em rotação de culturas aumentam de forma significativa a retenção de carbono e nitrogênio no solo, com implicações importantes para o balanço destes elementos (AMADO et al., 2001). Em estudos realizados por Jantalia et al. (2003), chegaram ao resultado de que os sistemas de rotação de culturas com maior diversidade de espécies, em relação à sucessão trigo/soja, promoveram estoques de carbono e nitrogênio significativamente maiores em sistemas que mantêm cobertura no solo, e em plantio convencional estes efeitos foram nulos. Isso foi confirmado por Testa et al. (1992) onde os estudos de sucessões de culturas com produção de biomassa maiores que a da vegetação espontânea permitiu elevar o teor de C do solo, no cultivo sem revolvimento do solo, com aumentos tanto maiores e mais rápidos, quanto maior a produção adicional de biomassa pelas sucessões.

Segundo estudos de Corazza et al. (1999), enquanto o solo cultivado com grade pesada apresentou perda de 8,3 Mg ha⁻¹ de Carbono, em 12 anos, em relação a solos de cerrado nativo, no solo em plantio direto verificou-se, em 15 anos, um aumento de 21,4 Mg ha⁻¹ de Carbono, o que corresponde a uma taxa anual de acúmulo de C no solo de 1,43 Mg ha⁻¹. Estes resultados demonstram que, enquanto o solo sob plantio convencional atua como fonte de C para a atmosfera, o solo com cobertura de palhada atua como um dreno de C atmosférico.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Caracterização do local do experimento

O experimento foi conduzido no ano de 2010 e início de 2011, em Guarapuava, município situado geograficamente no Sul do Brasil, na região Centro Sul do Estado do Paraná (figura 1). Sua instalação foi no *Campus* CEDETEG – UNICENTRO, no campo experimental do Departamento de Agronomia, com coordenadas de latitude 25° 23' 36'' S e longitude 51° 27' 19'' W, e altitude de 1.025 m.



Figura 1 - Localização geográfica do município de Guarapuava – PR. Adaptado de IPARDES (2007).

O clima regional, pela classificação de Köppen, é do tipo Cfb, subtropical mesotérmico úmido, sem estação seca e com verões frescos, com temperatura média anual de 17°C, a precipitação média anual é de 1.961 mm (IAPAR, 2000). Os dados pluviométricos desde o início do experimento estão na figura 2.

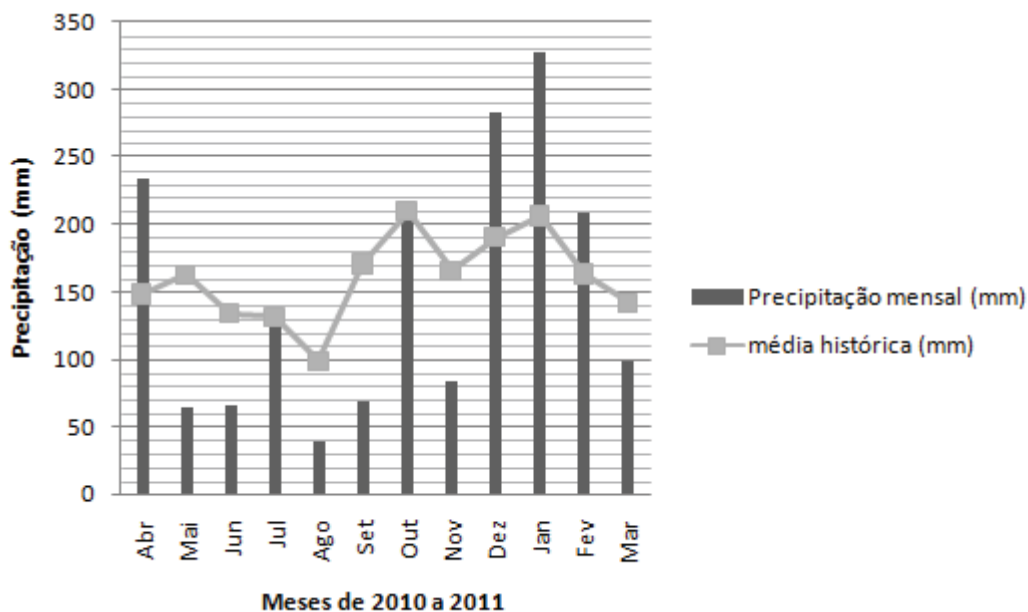


Figura 2 – Distribuição da precipitação pluvial nos meses de abril a dezembro de 2010 e no primeiro trimestre de 2011, comparada com as médias históricas de 1976 a 2011. Dados obtidos da Estação Meteorológica oficial, situada no CEDETEG.

O solo próximo da área experimental (tabela 1), foi classificado como Latossolo Bruno e caracterizado morfologicamente. A partir disso, foi feita sua descrição física e análise do perfil de solo.

Tabela 1 – Resultados de análises das características do solo próximo ao local do experimento.

Horizonte	Profundidade	AG ³	AF ⁴	Silte	Argila	Dp ¹	Ds ²	Porosidade (%)		
	-- cm --	----- g kg ⁻¹ -----			--- g cm ⁻³ ---		Total	Macro	Micro	
A	0 – 30	140	70	70	720	2,5	1,0	60,0	9,5	50,5
AB	30 – 50	100	60	50	790	2,5	0,9	63,2	11,9	51,3
BA	50 – 79	100	50	40	810	2,5	0,9	63,8	12,0	51,8
Bw ₁	79 – 113	100	50	20	830	2,6	0,9	64,5	11,7	52,8
Bw ₂	113 – 140	90	50	40	820	2,6	0,9	65,2	13,4	51,8

¹ Densidade de partícula; ² Densidade do solo; ³ Areia grossa; ⁴ Areia fina

Devido ao local do experimento ficar na Unidade de Pesquisa da Batata e Microclima, a cultura comercial anterior foi de batata (*Solanum tuberosum*) em sistema convencional, mas a área utilizada estava em pousio e sem utilização por mais de 12 meses, pois a última atividade foi a colheita da batata em 12 de abril de 2009. Devido à batata ser uma cultura exigente, muitos resíduos de fertilizantes permanecem no solo após sua colheita, sendo assim, não foi realizada adubação para implantação do experimento, pois para a cultura de batata, foi feita a correção do solo e adubação de acordo com a análise química do solo.

4.2. Delineamento experimental e instalação do experimento

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso com 5 repetições, dividido em 20 parcelas com 5,0 x 4,0 metros (20 m² cada), com espaçamento de 1,5 metros entre parcelas e 2,0 metros entre blocos (figura 3).

Para a instalação do experimento, foi aplicado herbicida glifosato na dose de 1,08 Kg ha⁻¹ de i.a. com auxílio de pulverizador costal, e após a completa dessecação das plantas, foi submetida à roçada mecânica (trator com roçadeira rente ao solo), buscando adequar o local para a semeadura das plantas de cobertura de inverno. A palhada fragmentada foi removida da superfície com rastelos manuais, com objetivo de permitir a semeadura a lanço dos tratamentos.

A quantidade de semente das espécies de cobertura (tratamentos) foi estimada utilizando a recomendação do fornecedor das sementes, Comercial de Sementes Lopes Ltda. de Santo Ângelo, RS.

Para determinar a quantidade necessária de sementes, foi realizado o teste de germinação das sementes em laboratório, colocando-se 100 sementes em papel filtro umedecido com água destilada e na forma de rolo, com quatro repetições, e deixado em câmara úmida por sete dias a 25°C. Após este período, foi calculado o percentual de sementes que germinaram, e a média foi utilizada para determinar a quantidade de sementes por parcela. O resultado obtido foi de

- Para a recomendação de 60 Kg ha⁻¹ de aveia, foram necessários 69 Kg ha⁻¹ de sementes de aveia com 85% de viabilidade, equivalente a 0,138 Kg por

parcela;

- Para a recomendação de 25 Kg ha⁻¹ de azevém, foram necessários 30 Kg ha⁻¹ de sementes de azevém com 80% de viabilidade, equivalente a 0,060 Kg por parcela;
- Para a recomendação de 15 Kg ha⁻¹ de nabo forrageiro, foram necessários 16,5 Kg ha⁻¹ de sementes de nabo com 90% de viabilidade, equivalente a 0,033 Kg por parcela;
- Para a recomendação de 50 Kg ha⁻¹ de ervilhaca, foram necessários 62,5 Kg ha⁻¹ de sementes de ervilhaca com 75% de viabilidade, equivalente a 0,125 Kg por parcela.



Figura 3 - Distribuição a campo das parcelas do experimento.

Os tratamentos foram semeados a lanço em 29/04/2010, e a incorporação realizada com rastelos manuais. As sementes não receberam nenhum inoculante.

4.3. Amostragens e análises realizadas

4.3.1. Análises físicas do solo

As análises laboratoriais físicas para determinação da densidade do solo, microporos, macroporos e porosidade total foram realizadas no Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas do Departamento de Agronomia da UNICENTRO, utilizando o método do anel volumétrico (Anel de Kopecky) submetido à Mesa de Tensão (EMBRAPA, 1997; KLEIN, 2008).

Para tanto, foram retiradas 40 amostras indeformadas de solo, sendo duas em cada parcela, no centro das camadas de 0,00 a 0,10m e 0,10 a 0,20m, no período anterior à implantação das culturas, em 28/04/2010, e repetido no período de pleno florescimento das plantas de cobertura, em 06/08/2010. A escolha do período de florescimento para a segunda amostragem se deve às culturas atingirem, neste momento, seu maior desenvolvimento da parte aérea e radicular. Foi estabelecido um período único para coleta de todas as plantas, por mais que a ervilhaca estivesse iniciando seu florescimento.

Após as coletas, as amostras indeformadas de solo foram saturadas por vinte e quatro horas em bandeja com uma lâmina de água a 2/3 de sua altura. Em seguida, foram pesadas e submetidas ao potencial de -0,006 MPa (sucção leve) em uma mesa de tensão, drenando assim a água contida nos macroporos. As amostras foram novamente pesadas e colocadas em estufa para secagem a 105°C por 48 horas, sendo novamente pesadas.

Os dados obtidos no laboratório foram utilizados para a determinação da densidade do solo (Ds), microporosidade do solo, macroporosidade do solo e porosidade total do solo de acordo com Embrapa (1997).

A resistência à penetração foi avaliada utilizando o aparelho Penetrômetro de Impacto (figura 4), Modelo IAAP/PLANALSUCAR (STOLF, 1998), com três determinações por parcela, fornecendo os dados que foram digitados no PNRT – Programa para Cálculo da Resistência do Solo ao Penetrômetro de Impacto, que gerou um arquivo com as resistências de 0 a 0,50m em MPa (PNRT, 1991).

Na coleta dos dados de resistência, o solo encontrava-se com 29% de umidade gravimétrica média, obtida através de cinco amostras de solo coletadas até 0,50m de profundidade, subdivididas em 3 camadas, com leituras de 28% na camada superficial, 29% na intermediária e 31% na mais profunda. As amostras foram homogeneizadas

separadamente, embaladas em recipiente plástico hermético e levadas ao laboratório. Foram pesadas, colocadas em latas de alumínio numeradas e submetidas à secagem a 105 °C por 48 horas. Depois de retiradas da estufa, foram colocadas em dessecador até esfriar e novamente pesadas para a determinação da umidade gravimétrica (EMBRAPA, 1997).



Figura 4 – Coleta dos dados de resistência a penetração do solo nas parcelas de ervilhaca (*Vicia sativa* L.).

4.3.2. Quantificação da biomassa vegetal seca

Em 06 de agosto de 2010, foram coletadas as amostras de plantas, retirando-se os indivíduos correspondentes a 0,25 m² de cada parcela, segundo a metodologia do quadrado de madeira descrito por Chaila (1986), respeitando-se os 0,40 m de área de bordaduras e os locais de coleta de amostras de solo.

Esta coleta foi realizada visando calcular a biomassa vegetal seca das culturas. Para tanto, foram coletados os exemplares inteiros, cortando-se o solo ao redor do gabarito de 0,25 m² até a profundidade de 0,40m, necessária para poder ter acesso a maior quantidade possível de sistema radicular, desestruturando o solo ao redor das raízes e coletado a planta inteira. Os

pacotes plásticos com as plantas, identificadas por parcela, foram levadas ao laboratório e separadas a parte aérea e as raízes, pesadas frescas e limpas de partículas de solo, embaladas em sacos de papel e colocado em estufa a 35 °C por 24 horas e depois elevada a temperatura a 65 °C, permanecendo pelo tempo necessário até atingir o peso constante do material, sendo novamente pesadas. Foram obtidos dados separados de parte aérea e de sistema radicular, e transformados em Mg ha⁻¹.

4.3.3. Avaliação da produtividade de soja

Foi realizado o corte da parte aérea das plantas, rente ao solo, com roçadeiras motorizadas manuais, formando uma cobertura morta em todas as parcelas. Na sequência, em 16 de novembro de 2010, foi estabelecida a cultura da soja em sucessão, com a cultivar BMX Apolo, utilizando-se uma semeadora de duplo disco, no espaçamento de 0,35m entre linhas, objetivando uma população de 250.000 plantas por hectare. As sementes foram inoculadas com *Rizhobium* específico para a cultura e tratadas com fungicidas e o controle de plantas espontâneas e os tratamentos fitossanitários foram realizados de acordo com a recomendação da empresa produtora das sementes, Brasmax Genética Ltda.

A colheita foi realizada manualmente, em 25 de março de 2011, com uma amostragem aleatória de 1 m² por parcela, respeitando-se as bordaduras e não utilizando os locais onde foram coletadas as amostras de plantas e de solo. O rendimento de grãos (umidade corrigida para 13%) foi determinado em relação à área colhida.

4.4. Análises estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do Software ASSISTAT (SILVA, 2011). Inicialmente os dados obtidos foram submetidos ao teste de Bartlett para verificar se todas as variâncias eram homogêneas. Estes dados foram submetidos à análise de variância, e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey (P < 0,05) (ZIMMERMANN, 2004).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Biomassa vegetal das plantas de cobertura

Observando a tabela 2, verifica-se que ocorreram diferenças significativas na produção de biomassa vegetal seca entre as plantas de cobertura avaliadas.

Destaca-se a cultura do nabo forrageiro, que apresentou a maior produtividade de biomassa da parte aérea e total, sendo que o azevém e a aveia tiveram uma boa produtividade na parte aérea, mas significativamente menor, e a aveia apresentou resultado de biomassa total semelhante a do nabo forrageiro, e a cultura da ervilhaca, teve os menores resultados, provavelmente devido a esta cultura ser mais tardia e estar no princípio de florescimento, enquanto os outros tratamentos já estavam em estágio mais avançado.

Tabela 2. Biomassa vegetal seca (Mg ha^{-1}) das diferentes espécies de plantas de cobertura de inverno no estágio de florescimento.

Biomassa seca	Aveia	Azevém	Nabo	Ervilhaca	Média	CV(%) ²	DMS ³
Parte aérea	9,12 b ¹	6,40 b	12,73 a	2,41 c	7,66	19,00	2,74
Raízes	2,66 a	1,97 b	1,35 c	0,34 d	1,58	19,00	0,58
Total	11,78 a	8,37 b	14,08 a	2,75 c	9,24	19,00	2,86

¹Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); ²Coeficiente de variação; ³Diferença Mínima Significativa.

Resultado similar sobre produção de matéria seca em sistemas consorciados, foi obtido por Silva et al. (2007) que afirmam que o nabo forrageiro foi a espécie dominante, entre aveia preta, ervilhaca, nabo forrageiro, aveia + ervilhaca, aveia + nabo, ervilhaca + nabo e aveia + ervilhaca + nabo, contribuindo com a maior parte do rendimento total de matéria seca da parte

aérea das espécies de cobertura de solo.

Na produtividade de biomassa radicular seca produzida pelas culturas avaliadas, pode-se verificar que ocorreu diferença significativa entre as médias destes tratamentos (tabela 2), demonstrando que estas espécies produzem diferenciadas quantidades de massa de raízes e, conseqüentemente, exploram variados volumes de solo em seu crescimento. A cultura da aveia apresentou os melhores resultados de produção de biomassa radicular, bem superior aos outros tratamentos.

Os resíduos destas culturas vão compor a principal fonte de C orgânico no solo, e diversos estudos têm indicado que o manejo dado ao solo é o fator determinante no estoque de C orgânico (URGUIANA et al., 2005). Sendo assim, a quantificação dos estoques de C promovidos pela biomassa vegetal em sistemas de rotação de culturas, são importantes para avaliar a capacidade destes sistemas de produção em sequestrar carbono da atmosfera e assim contribuir para a redução do efeito estufa (SALTON, 2005).

A utilização das culturas estudadas já é consagrada entre os produtores, e observa-se que o nabo forrageiro apresentou elevadas produções de biomassa vegetal seca, colocando esta cultura como a melhor em produtividade, e a cultura da aveia com destaque na produção de biomassa seca de raízes. Esta grande quantidade de biomassa vegetal seca (parte aérea) virá a compor o carbono orgânico do solo aumentando o teor de matéria orgânica na camada superficial e elevando a estabilidade de agregados (FLORES, 2008).

No entanto a ervilhaca apresentou a menor produtividade no mesmo período de crescimento, provavelmente devido a ter apresentado um crescimento mais lento e estar no início de seu florescimento. Segundo Da Ros e Aita (1996), os resíduos da ervilhaca, como cultura solteira, desaparecem rapidamente, mesmo quando deixados na superfície do solo, dada a facilidade com que são decompostos pela população microbiana, contrariamente àqueles da aveia, que persistem por mais tempo.

5.2. Propriedades físicas do solo

Na tabela 3 são apresentadas as propriedades físicas avaliadas nas duas profundidades,

após os tratamentos.

Tabela 3. Densidade do solo (Ds), Macroporosidade (Ma), Microporosidade (Mi) e Porosidade total do solo (Pt) avaliados antes da instalação do experimento, e após o cultivo com diferentes espécies de plantas de cobertura de inverno no estágio de florescimento.

Cobertura	Camada de 0,00 – 0,10 m			
	Ds	Ma	Mi	Pt
	----- g cm ⁻³ -----	----- % -----		
Aveia	1,12 a ¹	13 a	48 a	62 a
Azevém	1,11 a	14 a	48 a	62 a
Nabo	1,10 a	13 a	48 a	61 a
Ervilhaca	1,12 a	13 a	49 a	62 a
CV (%) ²	2,50	7,04	1,87	1,65
DMS ³	0,06	2,00	1,02	2,00
Média após cultivo ⁴	1,11 a	13 a	48 a	61 a
Média antes da instalação	1,17 a	13 a	48 a	61 a
	Camada de 0,10 – 0,20 m			
Aveia	0,97 a	17 a	50 a	67 a
Azevém	0,98 a	16 a	52 a	68 a
Nabo	1,03 a	13 b	53 a	66 a
Ervilhaca	1,04 a	13 b	53 a	66 a
CV (%)	5,40	13,80	4,52	2,53
DMS	0,10	3,00	4,00	3,00
Média após cultivo	0,99 a	14 a	52 a	66 a
Média antes da Instalação	0,94 a	15 a	53 a	68 a

¹Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas, não diferem significativamente pelo teste de Tukey (p<0,05); ²Coeficiente de variação; ³Diferença Mínima Significativa; ; ⁴Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem significativamente pelo teste F (P<0,05).

Pode-se observar nas duas camadas avaliadas (tabela 3), que todos os tratamentos obtiveram resultados semelhantes para densidade do solo, demonstrando que as espécies utilizadas, em seu primeiro ciclo de cultivo, não promoveram efeitos significativos, não havendo assim, possibilidades de diferenciar as espécies mais efetivas na melhoria deste atributo físico do solo. Em comparação com o momento da instalação do experimento (tabela

3) também não foi observada diferença entre as médias após análise estatística.

Estes resultados são semelhantes aos obtidos por Bertol et al. (2004), pois os autores não observaram variação nas propriedades físicas do solo pelo uso de diferentes sistemas de cultivo, compreendido como rotação e sucessão com culturas de cobertura em somente um ciclo de produção, concluindo que seria provável a necessidade de realizar experimentos por período de tempo mais longo para poder verificar os resultados da ação das plantas sobre as propriedades físicas do solo.

Estudos realizados por Aguiar et al. (2010), onde foi feita a aração com incorporação da biomassa das plantas de cobertura ao perfil, em um ciclo na cultura de arroz, não foram observadas diferenças significativas para densidade do solo, entre as profundidades de 0,0-0,10m; 0,10-0,20m; 0,20-0,30m, e para as diferentes plantas estudadas. Em trabalho realizado por Cubilla et al. (2002), também não se verificou efeito significativo nos valores de densidade do solo para diferentes sistemas de sucessão-rotação de culturas ao final de três anos, assim como as pesquisas apresentadas por Abrão et al. (1979), onde consideram que o benefício da inclusão de plantas de cobertura está ligado principalmente a criação de poros biológicos de alta funcionalidade na aeração e infiltração de água no solo. Ressalta-se que estes estudos obtiveram resultados significativos devido a serem experimentos de longa duração.

Os resultados da porosidade do solo, dividida em volume de macroporos, volume de microporos e porosidade total, são apresentados na tabela 3. Na camada de 0,00 a 0,10m de solo, os dados demonstram que todos os resultados dos tratamentos não apresentaram diferenças significativas, tendo um ciclo de culturas de coberturas de inverno, até o momento de seu florescimento, não produzido nenhuma alteração. Resultado similar ao obtido por Aguiar et al. (2010), que mesmo com a incorporação da biomassa das plantas de cobertura, não foram observadas diferenças significativas para a porosidade total, macroporosidade e microporosidade.

No entanto, para a camada de 0,10 a 0,20m, verificou-se que os tratamentos com aveia e azevém, apresentaram os maiores valores de macroporosidade, sendo uma diferença significativa em relação ao volume apresentado pelos outros tratamentos, demonstrando que estas culturas de inverno atuaram promovendo alterações neste atributo físico do solo. Foloni et al. (2006), observaram a ação destas culturas de cobertura, afirmando que as espécies

vegetais com sistema radicular agressivo e abundante provocam desarranjos no solo e, ao sofrer decomposição, deixam canais que contribuem para a infiltração de água e difusão de gases, melhorando a qualidade física do solo para as próximas culturas.

Como observado por Ferreira et al. (2000) a melhoria na estrutura do solo promovida pelas plantas de cobertura, resulta em benefícios quanto à porosidade e aeração do solo, somente após a decomposição das raízes, formando-se galerias no solo e facilitando a infiltração da água das chuvas. Segundo Abreu (2000), a quantidade de poros que as raízes formam, é em razão da decomposição das mesmas, e são mais estáveis, e o processo de decomposição e a ação dos microorganismos criam um material cimentante que os torna mais estáveis que os formados por processos de descompactação mecânica.

Conforme tabela 3, verifica-se o pequeno volume de macroporos (média de 13%) na camada de 0,00 a 0,10m, e próximo do limite crítico restritivo para o desenvolvimento radicular das culturas, conforme apontado por Andrade e Stone (2009), de 10%. Estes resultados são corroborados por Giarola et al. (2007) e Souza et al. (2005), que indicam a redução nos macroporos, como tendo grande efeito sobre o desenvolvimento radicular das plantas por imprimir ao solo condições de baixa aeração.

Um solo ideal para a produção agrícola deve apresentar porosidade total próxima a 50% e uma distribuição percentual de 34% de macroporos e 66% de microporos (ANDRADE e STONE, 2009). Kiehl (1979) afirma que, idealmente, um solo deve possuir 50% do seu volume ocupado por poros; deste volume, 1/3 deve corresponder aos macroporos e 2/3 aos microporos, e 50% de sólidos (45% de matéria mineral e 5% de matéria orgânica), e, concordando com Brady e Weil (2002), também consideram a relação micro/macroporos ideal para as culturas agrícolas em 2:1 (tabela 4). Os baixos valores de macroporosidade e altos valores na relação micro/macroporos implicam em uma aeração deficiente do solo, o que pode prejudicar o desenvolvimento das culturas.

Assim, a proporção média ideal de macroporos para as camadas de 0,00 a 0,10m e 0,10 a 0,20m, seriam respectivamente de 20% e 22%. No entanto têm-se os dados de 13% e 14% respectivamente (tabela 3), sendo, na média, 36% menor em relação ao volume ideal de macroporos.

Verifica-se na tabela 4, que a cultura do azevém apresentou a menor relação micro/macroporos nas duas camadas avaliadas, e a aveia na camada de 0,10 – 0,20m

demonstrando que estas culturas, em sistema de rotação, podem contribuir para o equilíbrio proporcional da porosidade do solo.

Tabela 4. Relação Micro/Macroporosidade do solo, em função das plantas de cobertura e camada avaliada do solo cultivado com diferentes espécies de plantas de cobertura de inverno no estágio de florescimento.

Camadas (m)	Aveia	Azevém	Nabo	Ervilhaca	Média	CV(%) ²	DMS ³
0,00 – 0,10	3,7/1 a	3,4/1 b	3,7/1 a	3,8/1 a	3,6/1	1,36	0,14
0,10 – 0,20	2,9/1 b	3,2/1 b	4,1/1 a	4,1/1 a	3,6/1	3,22	0,32

¹Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas, não diferem significativamente pelo teste de Tukey (p<0,05); ²Coefficiente de variação; ³Diferença Mínima Significativa.

Já no volume de microporos encontrados (tabela 3), onde o ideal para as camadas amostradas seria de 40% e 43% respectivamente, observou-se o volume de 48% e 52%, um aumento médio de 19% no volume considerado ideal dos microporos.

A avaliação do solo quanto a sua resistência à penetração é apresentada na tabela 5. Não foram encontradas diferenças entre as médias de resistência do solo apresentada por cada tratamento, em cada camada avaliada individualmente. Então, os tratamentos com plantas de cobertura de inverno não promoveram mudanças significativas na resistência do solo nas camadas individuais de 0,0 a 0,50m, não havendo assim possibilidades de verificar quais espécies seriam mais eficientes para promover uma melhoria deste atributo físico do solo, já no primeiro ciclo de cultivo.

Observa-se que os maiores valores de resistência, apesar de ainda não caracterizarem qualquer tipo de impedimento ao desenvolvimento das culturas, ocorreram nas camadas de 0,10 a 0,30m evidenciando que nestas camadas está ocorrendo um princípio de acúmulo das tensões impostas pelo tráfego de máquinas e equipamentos. Esta é uma camada subsuperficial característica de impedimento em situações mais avançadas de acúmulo de tensão, tanto para o crescimento e penetração de raízes, como para infiltração de água no solo. Em estudo conduzido por Moreti et al. (2006), com objetivo de estudar a influência de diferentes sistemas de manejos no movimento de água e na resistência de um Latossolo Vermelho,

concluíram que, para a resistência a penetração, não houve diferença significativa entre os tratamentos estudados, que foram dois sistemas de semeaduras (direta e convencional), antes e após a implantação de plantas de cobertura, adubações orgânicas e minerais.

Tabela 5. Resistência do solo cultivado com diferentes espécies de plantas de cobertura de inverno no estágio de florescimento.

Camada (m)	Aveia	Azevém	Nabo	Ervilhaca	Média	CV (%) ²	DMS ³
Resistência à penetração do solo (MPa)							
0,00 – 0,10	0,81 a ¹	0,90 a	0,85 a	0,88 a	0,86	13,74	0,22
0,10 – 0,20	1,33 a	1,27 a	1,28 a	1,36 a	1,31	9,81	0,24
0,20 – 0,30	1,00 a	1,09 a	1,06 a	1,04 a	1,05	12,51	0,24
0,30 – 0,40	0,91 a	0,92 a	0,83 a	0,91 a	0,89	8,07	0,13
0,40 – 0,50	0,92 a	0,92 a	0,90 a	0,92 a	0,91	11,94	0,20

¹Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas, não diferem significativamente pelo teste de Tukey (p<0,05); ²Coeficiente de variação; ³Diferença Mínima Significativa.

Estudos afirmam que a resistência do solo pode sofrer alterações nos cultivos em rotação com plantas de cobertura em anos sucessivos, como o de Reinert et al. (2008), no qual verificaram uma redução da densidade do solo pelo uso de plantas de cobertura apenas na camada mais superficial, assim como Franchini et al. (2009) evidenciaram que é possível melhorar a estrutura das camadas de solo, sem intervenção mecânica e, deste modo, aumentar o desenvolvimento radicular e a disponibilidade hídrica para a soja. Debiase (2008) relatou a eficiência das plantas de cobertura na melhoria das características físicas do solo, após quatro anos de condução de experimento em Argissolo, anteriormente degradado fisicamente pelo pisoteio animal. Assim como Dexter (2004) afirma que, a resistência do solo juntamente com a densidade do solo, são atributos físicos que influenciam diretamente o crescimento das raízes e, conseqüentemente, a parte aérea das plantas. Quando aumenta a resistência à penetração do solo, o sistema radicular apresenta desenvolvimento reduzido, podendo comprometer a produtividade da área.

5.3. Produtividade de grãos de soja

A produtividade da cultura de soja em sucessão às plantas de cobertura, não apresentou diferença significativa entre as médias. Isso demonstra que, após o primeiro ciclo de cultivo destas plantas, não há influência direta no aumento ou diminuição do potencial produtivo da cultura de verão (tabela 6). Os dados indicam que todas estas plantas de cobertura podem ser incluídas, sem prejuízos na produtividade, num sistema de rotação com a cultura de soja, uma vez que o rendimento de grãos não mostrou diferença significativa.

Tabela 6. Produtividade da cultura de soja (Mg ha^{-1}) em sucessão das diferentes espécies de plantas de cobertura de inverno.

	Aveia	Azevém	Nabo	Ervilhaca	Média	CV(%) ²	DMS ³
Produtividade	2,56 a ¹	2,68 a	2,82 a	3,18 a	2,81	14,40	0,76

¹Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); ²Coeficiente de variação; ³Diferença Mínima Significativa.

Em estudos realizados por Gazola e Cavariani (2011), avaliando o desempenho de cultivares de soja transgênica em sucessão a culturas de inverno (aveia branca, nabo forrageiro, cevada, trigo e ervilhaca), verificaram que a produtividade de grãos de soja da cultivar BRS 243 RR, foi influenciada pelas culturas de inverno semeadas anteriormente, e que entre estas, o nabo forrageiro se destaca, tanto no número de nódulos nas raízes, como para a massa de matéria seca de nódulos em planta de soja, sendo este aumento na nodulação, a possibilidade de estar diretamente ligado a maior produtividade. Respostas positivas da produtividade de soja ao uso de plantas de cobertura, também foram obtidos em estudos de Nicoloso et al. (2008) com o consórcio aveia+nabo forrageiro, assim como Debiasi et al. (2010) obtiveram maior produtividade de soja nos tratamentos aveia preta + ervilhaca, em relação ao pousio.

Na cultura da ervilhaca foi observada boa nodulação radicular com *Rhizobium* naturalmente existente na área, fixando nitrogênio que ficou disponível para a cultura

posterior. Como a soja, sendo uma leguminosa que também realiza associação simbiótica com *Bradyrhizobium*, foi afetada pela boa disponibilidade de nitrogênio durante seu ciclo produtivo, comprovando as afirmações de Hungria e Stacey (1997) observando que a rotação de culturas favorece a população simbiótica, melhorando assim a nodulação, a fixação biológica de nitrogênio e o rendimento na cultura da soja.

Em seus estudos, Santos e Reis (1990) concluíram que as culturas antecessoras tiveram efeito sobre a altura de plantas de soja, número de vagens e de grãos, peso de grãos por planta e de 1000 sementes. No entanto, Fontaneli et al. (2000), verificaram que a cultura antecessora de aveia-branca; aveia-preta; trigo e aveia-preta em consórcio com ervilhaca peluda, não influenciou significativamente sobre a produção de grãos de soja.

6. CONCLUSÕES

A cultura do nabo forrageiro apresenta a maior produtividade de biomassa vegetal seca, enquanto a ervilhaca apresentou o menor resultado. Na produtividade de biomassa radicular seca, a aveia apresenta os melhores resultados, enquanto a ervilhaca teve a menor produtividade.

O primeiro ciclo de cultivo de plantas de cobertura não promove alterações na densidade do solo, microporosidade, porosidade total e resistência a penetração do solo. Entretanto, na camada de 0,10 a 0,20m foram verificados maiores valores de macroporosidade nos tratamentos com aveia e azevém.

A cultura do azevém apresenta a menor relação micro/macroporos nas duas camadas avaliadas, e a aveia na camada de 0,10 – 0,20m, demonstrando que estas culturas, em sistema de rotação, podem contribuir para a porosidade do solo.

A produtividade de soja não é influenciada pelas plantas de cobertura.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRÃO, P. U. R.; GOEPFERT, C. F.; GUERRA, M.; ELTZ, F. L. F. e CASSOL, E. A. Efeitos de sistemas de preparo do solo sobre características de um Latossolo Roxo distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 3:169-172, 1979.

ABREU, S. L. Propriedades hídricas e mecânicas afetadas por sistemas de manejo e variabilidade espacial de um Argissolo. 2000, Santa Maria, **Dissertação de Mestrado**, Universidade Federal de Santa Maria, 2000. 65 p.

AGUIAR, R. A.; MOREIRA, J. A. A.; STONE, L. F.; BERNARDES, T. G.; JESUS, R. P. Sustentabilidade de sistemas orgânicos com plantas de cobertura na cultura do arroz, por meio de alterações físicas do solo, **Revista Pesquisa Agropecuária Tropical**, UFG, Goiânia, v.40, n.2, p. 142-149, 2010.

AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais e plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.601-612, 2003.

AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; HUBNER, A. P.; CHIAPINOTTO, I. C.; FRIES, M. R. Consorciação de plantas de cobertura no outono/inverno antecedendo o milho em plantio direto: Dinâmica do nitrogênio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.28, p.739-749, 2004.

ALBUQUERQUE, J. A.; REINERT, D. J.; FIORIN, J. E.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. e FONTINELLI, F. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo – efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 19:115-119, 1995.

ALMEIDA, F. S.; RODRIGUES, B. N. Comparação entre diferentes métodos de preparo do solo e infestação por plantas daninhas. In: DERPSCH, R. **Controle da erosão no Paraná, Brasil: Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo**, v.11, p.108-111, 1991.

ALVARENGA, R. C.; CABEZAS, W. A. L.; CRUZ, J. C.; SANTANA, D. P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.22, n.208, p.25-36, 2001.

AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; ELTZ, F. L. F.; BRUM, A. C. R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.189-197, 2001.

ANDRADE, R. S.; STONE, L. F. Índice S como indicador da qualidade física de solos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, V.13, n.4, p.382-388, 2009.

ANDREOLA, F.; COSTA, L. M.; OLSZEWSKI, N. Influencia da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica ou mineral sobre as propriedades físicas de uma Terra Roxa Estruturada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24: 857-865p. 2000.

ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; da; FLECK, N. G.; BORTOLINI, C. G.; NEVES, R.; AGOSTINETTO, D. Efeitos do manejo mecânico e químico da aveia preta no milho em sucessão e no controle do capim papua. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.851-860, 2001.

ARRUDA, M. P. de Herança da resistência a ferrugem do colmo em genótipos brasileiros de aveia (*Avena sativa* L.).Universidade Federal do Rio Grande do Sul. **Dissertação de Mestrado**, Porto Alegre, RS, 2011.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo. Ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre, Genesis, 1999. p.9-26.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Aumento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.7, p.677-683, 2004.

BEUTLER A. N.; CENTURION, J. F. Efeito do conteúdo de água e da compactação do solo na produção de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 38:849-856, 2003.

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J. e ZOLDAN JR, W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas as do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.155-163, 2004.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e

- na produtividade de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.581-588, 2004.
- BLAINSKI, E.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; GUIMARÃES, R. M. L. Quantificação da degradação física do solo por meio da curva de resistência do solo a penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.975-983, 2008.
- BRADY, N. C.; WEILL, R. Y. **The nature and properties of soils**. 13^a edição. New Jersey: Prentice Hall, 2002. 958p.
- CALEGARI, A. Rotação de culturas e uso de plantas de cobertura, **Revista Agroecologia Hoje**, ano II, n.14, maio a junho de 2002 – Botucatu-SP.
- CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULISANI, E. A.; WILDNER, L. P. do; COSTA, M. B. C. da; ALCÂNTARA, P. B.; MIYASAKA, S.; AMADO, T. J. C. **Adubação verde no Sul do Brasil**. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1993.346p.
- CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba, São Paulo, 1997. 132p.
- CAMARA, R. K. et al. Dinâmica de restos culturais na superfície do solo em plantio direto escarificado. In Reunião Sul Brasileira de Ciência do Solo, 4, 2002, Porto Alegre, **Anais...** Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002, CD-ROM.
- CAPECHE, C. L. et al. **Estratégias de recuperação de áreas degradadas**, EMBRAPA, Rio de Janeiro, 2008.
- CATTELAN, A. J.; GAUDÊNCIO, C. A.; SILVA, T. A. Sistemas de rotação de culturas em plantio direto e os organismos do solo, na cultura da soja, em Londrina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, p.293-301, 1997.
- CERETTA, C. A.; BASSO, C. J.; FLECHA, A. M. T.; PAVINATO, P. S.; VIEIRA, F. C. B.; MAI, M. E. M. Manejo da adubação nitrogenada na sucessão aveia preta/milho, no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.163-171, 2002.
- CHAILA, S. Métodos de evaluación de malezas para estudios de población y control. **Malezas**, v. 14, n.2, p. 1-78, 1986.
- COLLARES, G. L., Compactação em latossolo e argissolo e relação com parâmetros de solo e de plantas. **Tese de doutorado**, Universidade de Santa Maria, 2005.
- CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira:**

grãos. Quarto levantamento, janeiro de 2011. Disponível em <<http://www.conab.gov.br>>, acesso em 21 de Nov 2011.

CONANT, R. T.; PAUSTIAN, K.; ELLIOTT, E. T. Grassland management and conversion into grassland: effects on soil carbon. **Ecological Applications**, Washington, v.11, n.2, p. 343-355, 2001.

COOPLANTIO, Cooperativa dos Agricultores de Plantio Direto. Disponível em <<http://www1.cooplantio.com.br/central-noticias/plantio-soja-201112-brasil-avanca-para-5-area/2133.aspx>>, acesso em 21 de Nov 2011.

CORAZZA, E. J.; SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação do cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.3, p.425-432, 1999.

COSTA, M. B. B. da et al. **Adubação Verde no Sul do Brasil**. AS-PTA, Assessoria e Serviços a Projetos em Agricultura Alternativa. 1992. 346p.

CRUZ, J. C.; ALVARENGA, R. C.; NOVOTNY, E. H.; PERREIRA, F. S.; PERREIRA, F. T. F.; HERNANI, L. C. **Cultivo do milho: sistema de plantio direto**, Embrapa-CNPMS, Sete Lagoas, 2002.

CUBILLA, M. M. A.; REINERT, D. J.; AITA, C.; REICHERT, J. M. e RANNO, S. K. **Plantas de cobertura do solo em sistema de plantio direto – uma alternativa para aliviar a compactação**. Universidade Federal de Santa Maria, Dep. de Solos, CCR, CNPQ, Santa Maria-RS, 2002, e XIV Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água. Cuiabá, MT, 2002.

CURI, N.; LARACH, J. O. I.; KAMPF, N.; MONIZ, A. C.; FONTES, M. E. F. **Vocabulário da ciência do solo**, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 1993, 90p.

DA ROS, C. O.; AITA, C. Efeitos de espécies de inverno na cobertura do solo e fornecimento de nitrogênio ao milho em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 20:135-140, 1996.

DEBIASE, H. Recuperação física de um argissolo compactado e suas implicações sobre o sistema solo-máquina-planta, 2008. 263 f. **Tese de Doutorado** – Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

- DEBIASI, H.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R.; CONTE, O.; KAMIMURA, K. M. Produtividade de soja e milho após coberturas de inverno e descompactação mecânica do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.6, p. 603-612, 2010.
- DE MARIA, I. C.; CASTRO, O. M.; DIAS, H. S. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.703-709, 1999.
- DERPSCH, R.; ROTH, C. H.; SIDIRAS, N.; KOPKE, U. **Controle da erosão no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo**. Eschborn: GTZ/IAPAR, 1991. 271p.
- DEXTER, A. R. Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, v.120, p.201-214, 2004.
- EMBRAPA Gado de Leite, **Instrução Técnica para o produtor de leite**, Maurílio José Alvim, Juiz de Fora – MG, 2006.
- EMBRAPA, **Manual de Métodos de Análise de Solo**, 2ª ed. rev.atual.- Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- FELLER, C.; BEARE, M. H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. **Geoderma**, v.79, p. 69-116, 1997.
- FERREIRA, T. N.; SCHWARZ, R. A.; STRECK, E. V. **Solos: manejo integrado e ecológico – elementos básicos**. Porto Alegre: EMATER/RS, 2000. 95p.
- FLORES, C.A. et al. Recuperação da qualidade estrutural, de um Argissolo Vermelho. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.8, p.2164-2172, nov, 2008.
- FOLONI, J. S. S.; LIMA, S. L.; BÜLL, L. T. Crescimento aéreo e radicular da soja e de plantas de cobertura em camadas compactadas de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, n.1, p.49-57, 2006.
- FONTANELI, R. S.; PIOVEZAN, A. J. Efeito de cortes no rendimento de forragem e grãos de aveia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, n.26, p.691-697, 1991.
- FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P. dos; VOSS, M.; AMBROSI, I. Rendimento e nodulação de soja em diferentes rotações de espécies anuais de inverno sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.2, p.349-355, 2000.

FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; NEPOMUCENO, A. L.; FARIAS, J. R. B. Manejo do solo para redução das perdas de produtividade pela seca. **Publicação Embrapa Soja**, Londrina, PR, 2009.

GALDOS, M. V. Dinâmica do carbono do solo no agrossistema de cana de açúcar. Tese (**Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas**) – Escola Superior Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007, 102p.

GAZOLA, E.; CAVARIANI, C. Desempenho de cultivares transgênicas de soja em sucessão a culturas de inverno em semeadura direta. **Biosci J.**, Uberlândia, v.27, n.5, p.748-763, 2011.

GENRO JUNIOR, 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 de Ciência do Solo**, v.28, p.477-484, 2004.

GENRO JUNIOR, S. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; ALBUQUERQUE, J. A. Atributos físicos de um Latossolo vermelho e produtividade de culturas cultivadas em sucessão e rotação. **Ciência Rural**, Universidade Federal de Santa Maria, RS, v. 39, n.01, p.65-73, 2009.

GIAROLA, N. F. B.; TORMENA, C. A.; DUTRA, A. C. Degradação física de um Latossolo Vermelho utilizado para a produção intensiva de forragem, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31 n.5, Viçosa, 2007.

GIRARDELLO, V. C. Qualidade física de um latossolo submetido a escarificação sitio específico e o rendimento da soja sob plantio direto. **Dissertação de Mestrado**, UFSM, RS, 2010.

GONÇALVES, C. N.; CERETTA, C. A. Plantas de cobertura de solo antecedendo o milho e seu efeito sobre o carbono orgânico do solo, sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.307-313, 1999.

GUARIZ, H. R. et al. **Variação da umidade e da densidade do solo sob diferentes coberturas vegetais**. Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril de 2009, INPE, p. 7709-7716.

GUERREIRO, C. P. V. Diferentes métodos de adubação verde, **Revista Agroecologia Hoje**, ano II, n. 14, maio a junho de 2002 – Botucatu-SP.

- HAKANSSON, I.; REEDER, R. C. Subsoil compaction by vehicles with high axle load-extent, persistence and crop response. **Soil & Tillage Research**. Amsterdam, v.29, p.277-304, 1994.
- HUNGRIA, M. da C.; STACEY, G. Molecular signals exchanged between host plants and rhizobia: basic aspects and potential application in agriculture. **Soil Biology & Biochemistry**. Oxford, v.29, n.5-6, p.819-830, 1997.
- HUNGRIA, M. da C. Plantio direto favorece o sequestro de carbono e a vida do solo muito além da camada superficial. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v.20, n.120, p.26-28, nov./dez. 2010.
- IAPAR, Instituto Agrônômico do Paraná. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina, 2000. v.1.0. CD ROM.
- IPARDES, Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. **Localização do município de Guarapuava**. Disponível em <<http://www.ipardes.gov.br>>. Acesso em 10 dez 2007.
- ISHAQ, M.; IBRAHIM, M.; HASSAN, A.; SAEED, M.; LAL, R. Subsoil compaction effects on crops in Punjab, Pakistan: II. Root growth and nutrient uptake of wheat and sorghum. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.60, n.1, p.153-161, 2001.
- JANTALIA, C. P.; SANTOS, H. P. dos; DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Influência de rotações de culturas no estoque de carbono e nitrogênio do solo sob plantio direto e preparo convencional. **Agronomia**, v.37, n.2, p.91-97, 2003.
- JESUS, C. P. de. Atributos físicos do solo e produtividade da soja após um ano de integração lavoura-pecuária em área sob plantio direto. **Dissertação de Mestrado**. Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC. 2006. 46p.
- JIMENEZ, R. L.; GONÇALVES, W. G.; ARAÚJO FILHO, J. V.; ASSIS, R. L.; PIRES, F. R.; SILVA, G.P. Crescimento de plantas de cobertura sob diferentes níveis de compactação em um latossolo vermelho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, UFCG, v.12, n.2, p.116-121, 2008.
- KIEHL, E. J. **Manual de Edafologia**: relações solo-planta. São Paulo: Ceres, 1979. 262p.

- KISSMANN, K. G. *Avena strigosa* Schreb. In: **Plantas infestantes e nocivas**. BASF, São Paulo, 1ª ed., 1991, 603 p.
- KLEIN, V. A., **Física do Solo**. Passo Fundo-RS, Ed. Universidade de Passo Fundo, 2008. 212p.
- LAL, R.; SHUKLA, M. K. **Principles of soil physics**. Ohio, U.S.A., The Ohio University Columbus, ISBN: 0-203-02123, 2004.
- LEIFELD, J.; KOGEL-KNABNER, I. Soil organic matter fractions as early indicators for carbon stock changes under different land-use. **Geoderma**, Amsterdam, v.124, n.1/2, p.143-155, 2005.
- LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. Uberlândia: Oficina dos textos, 2002. 178p.
- LIMA, V. C.; LIMA, J. M. J. C. **Introdução à pedologia**. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, Dep. de Solos e Engenharia Agrícola, 1996.
- MACHADO, A. de M. M.; FAVARETTO, N. Atributos físicos do solo relacionados ao manejo e conservação dos solos. In: LIMA, M. R. et al. **Diagnóstico e recomendações de manejo do solo: aspectos teóricos e metodológicos**. Curitiba: UFPR/ Setor de Ciências Agrárias, 2006. p. 234-254.
- MAPFUMO, E.; CHANASYK, D. S.; BARON, V. S.; Forage growth and yield components as influenced by subsurface compaction. **Agronomy Journal**, Madison, v.90, n.4, p.805-812, 1998.
- MEDEIROS, G. B. de; CALEGARI, A. Rotação de culturas. Cap. 9, p.135-142, In: CASÃO JUNIOR, R.; SIQUEIRA, R.; MEHTA, Y. R.; PASSINI, J. J. **Plantio direto com qualidade**. Londrina: IAPAR, Fóz do Iguaçu: ITAIPU Binacional, 2006, 200p.
- MELHORANÇA, A. L.; HERNANI, L. C. Efeito do manejo de solo sobre a população de plantas daninhas na cultura da soja. In: Congresso Brasileiro de Ciências das Plantas Daninhas, XXI, 1997, Caxambú. **Anais...SBCPD**, 1997. p.162.
- MEROTO JUNIOR, S.; MUNDSTOCK, C. M. Wheatrootgrowth as affected by soil strength. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.197-202, 1999.
- MILLER, R. M.; JASTROW, J. D. Hierarchy of root and mycorrhizal fungal interactions with

soil aggregation. **Soil Biology e Biochemistry**, v.22, p.579-584, 1990.

MONEGAT, C. **Plantas de cobertura do solo**; características e manejo em pequenas propriedades. Chapecó/SC, 1991. 337 p.

MORETI, D.; ALVES, M. C.; PEROZINI, A. C.; PAZ GONZÁLEZ, A.; SILVA, E. C. Condutividade hidráulica e resistência a penetração do solo influenciadas por diferentes sistemas de manejo. **Cadernos Lab. Xeolóxico de Laxe**, Corunha, vol.31, p.29-42, 2006.

OLIVEIRA, T. K. de; CARVALHO, G. J. de; MORAES, R. N. S. Plantas de cobertura e seus efeitos sobre o feijoeiro em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.1079-1087, 2002.

NICOLOSO, R. da S.; AMADO, T. J. C.; SCHENEIDER, S.; LANZANOVA, M. E.; GIRARDELLO, V. C.; BRAGAGNOLO, J. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um Latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1723-1734, 2008.

PALMEIRA, P. R. T.; PAULETTO, E. A.; TEIXEIRA, C. F. A.; GOMES, A. S.; SILVA, J. B. Agregação de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 23: 189-195p. 1999.

PAVINATO, A.; AITA, C.; CERETTA, C. A.; BEVILAQUA, G. P. Resíduos culturais de espécies de inverno e o rendimento de grãos de milho no sistema de cultivo mínimo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.29, p.427-432, 1994.

PEREIRA, R. A.; ALVES, P. L. da C. A.; CORRÊA, M. P.; DIAS, T. C. de S. Influência da cobertura de aveia preta e milheto sobre comunidade de plantas daninhas e produção de soja. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.6, n.1, p.1-10, 2011.

PEREIRA, A. S. de; VELINI, E. D.; CARVALHO, L. R. de; RODELLA, R. C. S. M. Avaliações qualitativas e quantitativas de plantas daninhas na cultura da soja submetida aos sistemas de plantio direto e convencional. **Planta Daninha**, Londrina, v.18, n.2, p.207-216, 2000.

PHILLIPS, S. H.; YOUNG, H. M. **No-Tillage Farming**. Milwaukee: Reiman Associates, 1973. 224 p.

PNRT – Programa para Cálculo da Resistência do Solo ao Penetrômetro de Impacto – SCS-

- IAC, STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação de dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 15(3): 229-235, 1991.
- PRADO, R. P. et al. Manejo mecanizado de atividades para implantação de culturas. Jaboticabal: **Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola**, 2002.
- PREVEDELLO, C. L. **Física do solo com problemas resolvidos**. Curitiba, SAEAFS, 1996, 446 p.
- RABELO, R. R. Levantamento da situação atual de rotação de culturas e adubação verde na região Centro-Sul. In: Reunião Centro-Sul de Adubação Verde e Rotação de Culturas, 3. Cascavel, PR, 1991. **Ata da II Reunião Centro-Sul de Adubação Verde e Rotação de Culturas**. Cascavel, OCEPAR, 1991. P.53-95.
- REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Editora Manoele Ltda, 1990. 188 p.
- REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. **Propriedades físicas do solo**. Universidade Federal de Santa Maria, 2006. 18p.
- REINERT, D. J. et al. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em argissolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32. n. 5, 1805-1816, 2008.
- REZENDE, C. P.; CARDOSO PINTO, J.; EVANGELHISTA, A. R.; SANTOS, I. P. A. Alelopatia e suas interações na formação e manejo de pastagens. **Boletim Agropecuário**, Lavras, n.54, p.1-55, 2003.
- RIBEIRO, P. H. et al. Adubação verde, os estoques de carbono e nitrogênio e a qualidade da matéria orgânica do solo. **Revista Verde**, Mossoró, RN, v.6, n.1, p.43-50, 2011.
- RICHARDT, A.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O. R.; LLANILLO, R. F.; FERREIRA, R. Compactação de solo: Causas e efeitos. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 26, n. 3, p. 321-344, 2005.
- ROSSI, F.; VALLE, J. C. V.; VALLE, C. R. P. **Como tornar sua fazenda orgânica**, Viçosa-MG, CPT, 2002. 364p.
- SÁ, M. A. C.; JUNIOR, J. D. G. S. **Compactação do solo: consequências para o**

crescimento vegetal. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2005. 26p.

SALTON, J.C. Potencial de seqüestro de carbono em sistemas de produção envolvendo pastagens e agricultura sob plantio direto In: Simpósio sobre plantio direto e meio ambiente, 2005, Foz do Iguaçu. Seqüestro de Carbono e Qualidade da Água. **Anais**. Foz do Iguaçu:[Febrapdp], 2005. p. 81-89.

SANTOS, H. P. dos; REIS, E. M. Efeito de culturas de inverno sobre o rendimento de grãos e sobre algumas características agronômicas da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.25, n.11, p.1637-1645, 1990.

SANTOS, H. P.; REIS, E. M., **Rotação de culturas em plantio direto**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001. 212 p.

SANTOS, L. N. S. et al. Avaliação de atributos físicos de um Latossolo sob diferentes coberturas vegetais em Alegre (ES). **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v.6, n.2, p.140-149, 2009.

SILVA, R. I.; MENDONÇA, S. A. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciencia do Solo, p.275-374, 2007.

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

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.113-117, 1997b.

SILVA, J. E.; LEMAINSKI, J.; RESCK, D. V. S. Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de cerrados do oeste baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.18, p.541-547, 1994.

SILVA, F.A.S. Assistência estatística – **ASSISTAT versão 7.6 beta** (2011), Departamento de Engenharia Agrícola do CTRN, Universidade Federal de Campina Grande – *Campus* de Campina Grande – PB. Disponível em <<http://www.assistat.com>>, 2011.

SILVA, M. A. S. da; MAFRA, A. L.; ALBUQUERQUE, J. A.; DALLA ROSA, J.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Propriedades físicas e teor de carbono orgânico de um Argissolo

Vermelho sob distintos sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, n.2, p.329-337, 2006.

SILVA, A. A.; FERREIRA, P. R. da S.; SUHRE, E.; ARGENTA, G.; STRIEDER, M. L.; RAMBO, L. Sistemas de cobertura de solo no inverno e seus efeitos sobre o rendimento de grãos do milho em sucessão, **Ciência Rural**, v.37, n.4, p. 928-935, 2007.

SINNETT, D.; MORGAN, G.; WILLIAMS, M.; HUTCHINGS, T. R. Soil penetration resistance and tree root development. **Soil Use and Management**, v.24, p.273-280, 2008.

SIX, J.; ELLIOTT, E. T.; PAUSTIAN, K. Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems. **Soil Science Society of America Journal**, v.63, p.1350-1358, 1999.

SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B. Atributos físicos de um Neossolo Quartzênico e um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.11, 2005.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p. 189-196, 1998.

TAVARES, R. L. et al. **Curso de recuperação de áreas degradadas: a visão da Ciência do Solo no contexto do diagnóstico, manejo, indicadores de monitoramento e estratégias de recuperação**. Manual publicado pela EMBRAPA – Rio de Janeiro, 2008. 228p.

TAVARES, M. J. C. M. S.; ZANETTINI, M. H. B.; CARVALHO, F. I. F. Origem e evolução do gênero *Avena*: suas implicações no melhoramento genético. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.28, n.4, p.499-507, 1993.

TESTA, V. M.; TEIXEIRA, L. A. J.; MIELNICZUK, J. Características químicas de um Podzólico Vermelho-Escuro afetadas por sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.16, p.107-114, 1992.

TORRES, E.; SARAIVA, O. F. **Camadas de impedimento mecânico do solo em sistemas agrícolas com a soja**. Londrina: Embrapa Soja, 1999. 58 p. (Embrapa Soja, Circular Técnica, 23).

URGUIANA, S; JANTALIA, C.P.; ZOTARELLI, L.; ALVES, B.J.R.; BODDY, R.M.

Manejo de sistemas agrícolas para sequestro de carbono no solo. In: AQUINO, A. M; LINHARES, R. (Ed.). **Processos biológicos no sistema solo-planta: ferramentas para uma agricultura sustentável**, Brasília–DF, 2005, p.323-342.

VEZZANI, F. M. Qualidade do sistema solo na produção agrícola. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001. 184p. **Tese de Doutorado**.

VIEIRA, L. S.; SANTOS, P. C. T. C. dos; VIEIRA, N. F. **Solos: propriedades, classificação e manejo**. Brasília: MEC/ABEAS, 1988.

ZIMMERMANN, F. J. P. **Estatística aplicada à pesquisa agrícola**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2004. 402p.