

**NEURO HILTON WOLSCHICK**

**DESEMPENHO DE PLANTAS DE COBERTURA E  
INFLUÊNCIA NOS ATRIBUTOS DO SOLO E NA  
PRODUTIVIDADE DE CULTURAS EM SUCESSÃO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador:  
Prof. Dr. Fabrício Tondello Barbosa  
Co-orientadores:  
Prof. Dr. Ildegardis Bertol  
Prof. Dr. Rogério Laus

**LAGES SC**

**2014**

W869d Wolschick, Neuro Hilton  
Desempenho de plantas de cobertura e influência nos atributos do solo e na produtividade de culturas em sucessão / Neuro Hilton Wolschick. - Lages, 2014.  
93 p.: il.; 21 cm

Orientador: Fabrício Tondello Barbosa  
Coorientador: Ildegardis Bertol  
Coorientador: Rogério Laus  
Bibliografia: p. 83-91  
Dissertação (mestrado) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, 2014.

1. Aveia preta. 2. Nabo forrageiro. 3. Ervilhaca comum. I. Wolschick, Neuro Hilton. II. Barbosa, Fabrício Tondello. III. Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. IV. Título

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Setorial do  
CAV/ UDESC

**NEURO HILTON WOLSCHICK**

**DESEMPENHO DE PLANTAS DE COBERTURA E  
INFLUÊNCIA NOS ATRIBUTOS DO SOLO E NA  
PRODUTIVIDADE DE CULTURAS EM SUCESSÃO**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina.

**Banca Examinadora:**

Orientador: \_\_\_\_\_

Professor Dr. Fabrício Tondello Barbosa  
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC - CAV

Membro: \_\_\_\_\_

Professor Dr. Ildgardis Bertol  
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC – CAV

Membro: \_\_\_\_\_

Professor Dr. David José Miquelluti  
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC – CAV

Membro: \_\_\_\_\_

Professor Dr. Rodrigo Vieira Luciano  
IFRS- Bento Gonçalves - RS

**Lages, Agosto de 2014**



**Dedico essa dissertação a  
meus pais Elstor e Lourdes,  
pelos ensinamentos e exemplos  
repassados e por todo amor e  
carinho que são primordiais  
para alcançar meus objetivos.**



## **AGRADECIMENTOS**

A DEUS pela oportunidade de estar terminando mais uma etapa muito importante na minha caminhada.

A minha família pelo apoio e compreensão por esse período de afastamento.

A UDESC – CAV pela oportunidade de cursar o mestrado, igualmente a CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

Ao meu orientador professor doutor Fabrício Tondello Barbosa, por aceitar me orientar nesse projeto e por todo apoio e conhecimento transmitido, igualmente aos meus coorientadores e demais professores.

Aos meus colegas que se tornaram amigos e se disponibilizaram para ajudar nas atividades do meu projeto no campo, laboratório e elaboração da dissertação.





**“Protegerás o solo  
sagrado e o delegarás  
sadio as gerações  
futuras”**

**Glauco Olinger**



## RESUMO

WOLSCHICK, Neuro Hilton. **Desempenho de plantas de cobertura e influência nos atributos do solo e na produtividade de culturas em sucessão**. 2014. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo – Área de Manejo e Conservação do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, 2014.

A cobertura vegetal do solo é de fundamental importância na preservação de seus atributos físicos, químicos e biológicos, contribuindo na produtividade das culturas subsequentes. A pesquisa teve por objetivos avaliar a produção de biomassa vegetal de parte aérea e raízes, a cobertura do solo e o acúmulo de nutrientes de diferentes espécies de plantas de cobertura, bem como reflexos nos atributos do solo e na produtividade de milho e soja em Lages, SC. Utilizou-se o delineamento experimental em blocos ao acaso com duas repetições por bloco, em parcelas de 30 m<sup>2</sup>, conduzido de abril de 2013 a maio de 2014, num Cambissolo Húmico aluminico léptico. Testaram-se os seguintes tratamentos: PO - testemunha (pousio), com vegetação espontânea; AP - aveia preta (*Avena strigosa*); NF - nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.); EC - ervilhaca comum (*Vicia sativa*); e CE - consórcio (aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca). Avaliou-se o desenvolvimento das plantas e cobertura do solo; massa seca da parte aérea e raízes; teores de N, P, K, Mg e Ca no solo e no tecido vegetal, bem como a produtividade de milho e soja. Os atributos físicos e químicos do solo foram pouco influenciados pelas espécies de plantas de cobertura. Os cultivos solteiros de aveia e ervilhaca e o consórcio de aveia, ervilhaca e nabo forrageiro



apresentaram as maiores produções de massa seca da parte aérea, enquanto que a aveia apresentou a maior produção de raízes. Nos cultivos de ervilhaca e consórcio de espécies houve maior acúmulo de N, P, K, Ca e Mg no tecido vegetal, mas também de K e Mg no cultivo de aveia e de Ca no cultivo de nabo forrageiro. Os atributos de rendimento da cultura de milho foram influenciados positivamente pela adubação química. Na ausência de adubação a produtividade e o peso de mil grãos apresentou-se maior em sucessão ao cultivo de ervilhaca e consórcio de espécies. Os atributos de rendimento da soja não foram influenciados pelas espécies destinadas para cobertura de solo antecedendo o seu cultivo.

**Palavras-chave:** Aveia preta; Nabo forrageiro; Ervilhaca comum.



## ABSTRACT

WOLSCHICK, Neuro Hilton. **Performance of cover plants and influence on soil properties and productivity of crops in succession.** 2014, 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo – Área de Manejo e Conservação do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, 2014.

The cover crops are important for soil preservation, like physical, chemical and biological properties, thus contributing to the productivity of succeeding crops. This research aimed to evaluate the production of plant biomass of shoots and roots, ground cover and nutrient accumulation of different plant species coverage, as well as their influence on soil properties and yield of corn and soybean, in Lages/SC. The experiment was conducted from April 2013 to May 2014 in a Humic Cambisol, using the experimental design of randomized blocks, in plots with 30 m<sup>2</sup>. The following treatments were tested: i) spontaneous vegetation (control); ii) black oat (*Avena strigosa*); iii) oilseed radish (*Raphanus sativus* L.); iv) common vetch (*Vicia sativa*); and v) consortium of black oat, oilseed radish and common vetch. Analyzes were done to assess: development of plants and percentage ground cover; dry mass of shoots and roots; concentration of N, P, K, Ca and Mg in soil and plant tissue; and corn and soybean productivity on each treatment. The physical and chemical properties of the soil were low influenced by species of cover plants. Alone crops of black oat and vetch, and the consortium of black oat, vetch and oilseed radish had the highest yields of dry mass of shoot, while black oat showed the highest yield of root biomass. The vetch and consortium had the highest buildup of N, P, K Ca and Mg in their tissue, but also K and Mg in oat,





and Ca in oilseed radish. The corn yield was positively affected by chemical fertilization. In the absence of fertilization the productivity and the thousand grain of corn were higher in succession to the cultivation of vetch and consortium of species. The yield attributes of soybean were not affected by plants designated to cover crops before the planting.

**Key-words:** Black oat, Oilseed radish, Common vetch.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 – Croqui da área experimental.....48
- Figura 2 – Altura de plantas (cm) em função de dias após a emergência, nos diferentes tratamentos em Lages, SC.....68
- Figura 3 – Cobertura do solo pelo dossel das plantas (%) em função dos dias após a emergência, nos diferentes tratamentos em Lages, SC.....70



## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 – Características físicas do solo da área experimental em diferentes profundidades e em dois blocos.....45
- Tabela 2 – Características químicas do solo da área experimental em diferentes profundidades e em dois blocos.....46
- Tabela 3 - Datas de semeadura e de coleta de dados nas parcelas.....50
- Tabela 4 - Data da coleta final e o número de dias até o pleno florescimento de cada espécie vegetal.....51
- Tabela 5 - Determinações físicas do solo relacionadas a densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (Ma) e microporosidade (Mi), nos tratamentos em três profundidades.....58
- Tabela 6 - Determinações físicas do solo relacionadas a resistência do solo a penetração nos anéis volumétricos MPa (RP anel) e no campo MPa (RPc), grau de floculação em % (GF), diâmetro médio geométrico (DMG) em três profundidades.....61
- Tabela 7 - Coeficientes de correlação entre os atributos físicos de um Cambissolo Húmico com uso de diferentes plantas de cobertura de inverno.....64
- Tabela 8 - Determinações químicas no solo relacionadas aos teores Cálcio (Ca) em  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , Magnésio (Mg)



em  $\text{cmol}_c \text{ dm}^3$ , Alumínio (Al) em  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ,  
Fósforo (P) mg kg, Potássio (K) mg kg e  $\text{pH}_{\text{água}}$ ,  
 $\text{pH}_{\text{SMP}}$ .....66

- Tabela 9 - Biomassa vegetal de parte aérea, massa seca da parte aérea e raízes de plantas de cobertura em  $\text{Mg ha}^{-1}$ , para Lages –SC.....71
- Tabela 10 – Teores de Ca, Mg, P, K e N na parte aérea das plantas de cobertura.....73
- Tabela 11 – Teores de Ca, Mg, P, K e N nas raízes das plantas de cobertura.....73
- Tabela 12 - Quantidades totais de Ca, Mg, P, K, e N na parte aérea e raízes das plantas de cobertura.....75
- Tabela 13 – Teores dos elementos acumulados de Ca, Mg, P, K e N na parte aérea do tecido vegetal em  $\text{kg ha}^{-1}$ .....76
- Tabela 14 – Teores dos elementos acumulados de Ca, Mg, P, K e N na raízes do tecido vegetal em  $\text{kg ha}^{-1}$ .....77
- Tabela 15 – Matéria seca de parte aérea (palha + grãos), produtividade de grãos e peso de mil grãos de milho nas diferentes condições experimentais.....78
- Tabela 16 – Produtividade de grãos e o peso de mil grãos de soja nas diferentes condições experimentais.....80
- Tabela 17 – Correlações entre os teores de nutrientes acumulados nas plantas de cobertura e produtividade de milho e soja.....81





## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>29</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>31</b>
2.1 PLANTAS DE COBERTURA DO SOLO .....	31
2.1.1 Nabo Forrageiro .....	31
2.1.2 Ervilhaca Comum.....	32
2.1.3 Aveia Preta.....	33
2.2 PLANTAS DE COBERTURA E REFLEXOS NOS ATRIBUTOS DO SOLO .....	34
2.2.1 Atributos físicos.....	34
2.2.1.1 Densidade, porosidade, resistência à penetração e estabilidade de agregados em água.....	34
2.2.2 Atributos químicos do solo .....	37
2.3 COBERTURA DO SOLO PELO DOSSEL DAS PLANTAS... 38	
2.4 PLANTAS DE COBERTURA E PRODUÇÃO DE BIOMASSA VEGETAL .....	39
2.5 INFLUÊNCIA DAS PLANTAS DE COBERTURA DO SOLO SOBRE A PRODUTIVIDADE DE CULTURAS EM SUCESSÃO .....	40
<b>3 HIPÓTESES .....</b>	<b>43</b>
<b>4 OBJETIVOS .....</b>	<b>43</b>
<b>5 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>44</b>
5.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DA ÁREA EXPERIMENTAL .....	44
5.2 HISTÓRICO DE USO DA ÁREA EXPERIMENTAL E CARACTERÍSTICAS DO SOLO .....	44
5.3 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL... 47	
.....	48
5.4 MANEJO DO EXPERIMENTO DURANTE O PRIMEIRO PERÍODO DE AVALIAÇÃO.....	49
5.5 COLETAS DOS DADOS E DETERMINAÇÕES .....	50
5.5.1 Avaliação de altura das plantas .....	50
5.5.2 Avaliação de cobertura do solo pelo dossel das plantas .....	51
5.5.3 Coleta da parte aérea das plantas .....	51
5.5.4 Coleta das raízes das plantas.....	52
5.5.5 Coleta de amostras do solo e análises físicas e químicas ....	52
5.5.6 Análises químicas do solo e do tecido vegetal .....	54



5.6 MANEJO DO EXPERIMENTO DURANTE O SEGUNDO PERÍODO DE AVALIAÇÃO.....	54
5.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS .....	56
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>57</b>
6.1 EFEITOS DO USO DE PLANTAS DE COBERTURA SOBRE OS ATRIBUTOS DO SOLO .....	57
6.1.1 Densidade e porosidade do solo e resistência à penetração.....	57
6.1.2 Grau de floculação da argila e diâmetro médio dos agregados do solo.....	62
6.1.3 Correlações entre os atributos físicos do solo .....	63
6.1.4 Atributos químicos do solo relacionados ao uso de diferentes plantas de cobertura nas três profundidades analisadas .....	65
6.2 ALTURA DE PLANTAS E COBERTURA DO SOLO PELO DOSSEL.....	67
6.3 BIOMASSA VEGETAL DE PARTE AÉREA E RAÍZES DAS PLANTAS DE COBERTURA .....	70
6.4 NUTRIENTES NO TECIDO VEGETAL DAS PLANTAS DE COBERTURA DO SOLO.....	72
6.4.1 Teores de nutrientes no tecido vegetal.....	72
6.4.2 Acúmulo de nutrientes no tecido vegetal (raízes e parte aérea) .....	74
6.5 PRODUTIVIDADE DE MILHO E SOJA EM SUCESSÃO AS PLANTAS DE COBERTURA .....	77
6.5.1 Produtividade de milho.....	77
6.5.2 Produtividade de soja.....	79
6.5.3 Correlação entre atributos de rendimento de soja e milho e acúmulo de nutrientes por plantas de cobertura.....	81
<b>7 CONCLUSÕES .....</b>	<b>82</b>
<b>8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>83</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>93</b>



## 1 INTRODUÇÃO

O uso inadequado da terra e a exploração excessiva das áreas agrícolas acelera o processo de degradação do solo, bem como a exaustão dos nutrientes presentes no seu perfil. A densidade de cobertura vegetal sobre o solo é de fundamental importância na preservação de sua integridade e na proteção contra a erosão hídrica, a qual resulta em aumentos nas perdas de solo, água, nutrientes e matéria orgânica do solo.

O advento do sistema de semeadura direta trouxe grandes avanços na proteção do solo contra a erosão hídrica, porém em muitas propriedades rurais se observa deficiência de cobertura do solo. No sul do Brasil, o monocultivo e a sucessão de culturas, assim como o manejo inadequado das pastagens na estação fria que antecede a semeadura de espécies comerciais de estação quente, agravam essa condição. Portanto, torna-se necessário compreender melhor o efeito de espécies vegetais destinadas à cobertura do solo, quantificar a sua produção de biomassa e capacidade de proteger o solo durante seu desenvolvimento para uma dada região, avaliar seus efeitos nos atributos do solo e na ciclagem de nutrientes, os quais poderão favorecer o desenvolvimento de culturas comerciais e aumentar a eficiência do uso da terra.

O manejo inadequado do solo das áreas agrícolas em períodos de entressafra causa a degradação de seus atributos físicos e químicos. Isto torna necessário o uso cada vez maior de fertilizantes agrícolas para manutenção da produtividade das culturas de interesse econômico, reduzindo assim a eficiência agrônômica. Existem poucos estudos na região de Lages-SC avaliando os efeitos sobre seus atributos físicos e químicos com a utilização de plantas de cobertura do solo, bem como seus efeitos na produtividade de culturas comerciais, como o milho e a soja, as quais são fonte de renda ao produtor rural. Com base nas informações geradas, espera-se que os técnicos e os agricultores da região recebam informações baseadas em

dados científicos para a escolha das espécies a serem utilizadas como plantas de cobertura do solo, com o intuito de aumentar a produtividade das culturas.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 PLANTAS DE COBERTURA DO SOLO

A utilização de plantas de cobertura do solo é uma importante prática conservacionista para o cultivo das terras. Inúmeras espécies vegetais podem ser utilizadas para cobertura, cada qual com características particulares.

#### 2.1.1 Nabo Forrageiro

O nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.), pertencente à família Brassicaceae, é uma planta anual, alógama, herbácea, ereta, muito ramificada e que pode atingir de 1,0 a 1,8 m de altura (DERPSCH & CALEGARI, 1992). Caracteriza-se pelo crescimento inicial extremamente rápido e promove boa cobertura do solo (CALEGARI, 1990). Esta espécie vem sendo utilizada para adubação verde de inverno e como planta de cobertura do solo, principalmente em sistemas de manejo conservacionista como a semeadura direta e o cultivo mínimo.

O uso do nabo forrageiro como planta de cobertura é uma alternativa ao método mecânico de descompactação do solo, devido à raiz ser pivotante e bem desenvolvida, com capacidade de crescer em camadas compactadas, formar bioporos estáveis e melhorar os atributos físicos do solo (CUBILLA et al., 2002). No entanto, Kubota et al. (2005), em avaliação realizada após o manejo do nabo forrageiro, não observaram efeito imediato desta espécie em melhorar as condições físicas de um Argissolo de textura média e, ao contrário, verificaram aumento da densidade do solo na camada de 0 - 0,05 m. Segundo os autores este efeito foi atribuído à pressão exercida no solo pelo bulbo do nabo forrageiro, devido ao grande diâmetro do bulbo pivotante principal. No entanto, em avaliação realizada após a colheita da soja, os mesmos autores observaram aumento da

macroporosidade, da porosidade total e da estabilidade de agregados do solo em áreas que anteriormente receberam o nabo forrageiro em relação àquelas onde foi cultivado trigo.

### 2.1.2 Ervilhaca Comum

A ervilhaca comum (*Vicia sativa*) pertence à família Fabaceae, é originária da Ásia Ocidental, bacia Mediterrânea e Europa. Apresenta grande utilidade na agricultura de clima temperado, sendo bem adaptada à região Sul do Brasil e é utilizada como cobertura do solo, com papel importante na rotação de culturas e estabelecimento do sistema de semeadura direta. Quando usada como cobertura do solo, é indicado o espaçamento entre linhas de 0,2 a 0,4 m, sendo 25 a 40 kg de sementes por hectare (ALCÂNTARA & BUFARAH, 1992). A ervilhaca proporciona boa cobertura de solo e pode acumular grandes quantidades de N, apresenta ciclo longo, florescendo entre 140 e 160 dias após a semeadura (ALCÂNTARA & BUFARAH, 1992).

O uso de leguminosas como plantas de cobertura constitui uma importante fonte de N ao solo, devido à associação simbiótica com bactérias fixadoras de N, capazes de transformar o N<sub>2</sub> atmosférico em NH<sub>3</sub> (DÖBEREINER, 1966). Os trabalhos de pesquisa realizados com esta espécie evidenciam que, além de proporcionar cobertura do solo, dissipando a energia cinética das gotas de chuva e protegendo o solo da erosão hídrica, a ervilhaca fornece N para a cultura sucessora, podendo substituir parcial ou totalmente a adubação mineral nitrogenada (AITA & GIACOMINI, 2003). Em trabalho de Heinrichs et al. (2001) o cultivo solteiro de ervilhaca foi capaz de acumular maior quantidade de N, no tecido vegetal, quando comparado ao consórcio de ervilhaca e aveia, nas proporções de 90% e 10% de sementes.

De acordo com Borkert et al. (2003), 46 kg de N podem ser acumulados por tonelada de matéria seca de parte aérea de



ervilhaca comum. Por outro lado, Amado et al. (2002) estimam uma contribuição média de 120 kg ha<sup>-1</sup>. No entanto, devido à baixa relação C/N, a velocidade de liberação de N dos resíduos das fabáceas é muito rápida quando comparada a outras espécies (SILVA et al., 2006). Apesar da importância do uso de leguminosas antecedendo cultivos comerciais, pela fixação biológica de N atmosférico, o seu uso no Sul do Brasil ainda é restrito, comparativamente às gramíneas, destacando-se as cultivares de aveia. Isso ocorre pelo seu maior custo de implantação, disponibilidade de sementes no mercado, menor rendimento de matéria seca, bem como seu desenvolvimento inicial mais lento e rápida decomposição dos resíduos culturais, além da possibilidade de serem hospedeiras de pragas como percevejos e lagartas rosca (SILVA et al., 2006).

### **2.1.3 Aveia Preta**

A aveia-preta (*Avena strigosa*) é uma forrageira originária da Europa, de crescimento cespitoso, com colmos eretos e glabros e inflorescência em panícula. A época de semeadura é entre março e julho sendo indicada em espaçamentos de 0,17 a 0,20 m, e 60 a 80 kg ha<sup>-1</sup> de sementes (FONTANELI et al., 2009).

Entre as espécies de cobertura de solo no inverno, a aveia preta destaca-se como sendo a mais cultivada na região Sul do Brasil. Conforme Fontaneli et al. (2009) isso deve-se às características dessa cultura em relação ao alto rendimento de matéria seca, à disponibilidade de sementes no mercado, à rusticidade e a rapidez na formação de cobertura, antecedendo os cultivos principalmente de milho e soja, no verão.

## 2.2 PLANTAS DE COBERTURA E REFLEXOS NOS ATRIBUTOS DO SOLO

### 2.2.1 Atributos físicos

Um dos principais processos responsáveis pela redução da capacidade produtiva do solo é a degradação de suas propriedades físicas, como a perda da qualidade estrutural. Essas alterações podem se manifestar de várias maneiras, tendo influência no desenvolvimento das plantas. O solo submetido ao cultivo tende a perder a estrutura original pelo fracionamento dos agregados em unidades menores, com conseqüente redução do volume de macroporos e aumento do volume de microporos e de densidade do solo (CARPENEDO & MIELNICZUK, 1990).

De acordo com Floss (2000), a manutenção de restos culturais na superfície do solo é um importante fator para proporcionar melhorias na estrutura do solo, e na infiltração de água. O acúmulo de resíduos reduz a temperatura superficial do solo e proporciona um aumento da estabilidade dos agregados. Teixeira et al. (2003) ressaltam que a introdução de espécies de plantas de cobertura do solo nos sistemas de cultivo é importante para a recuperação de áreas degradadas, manutenção da estrutura e fornecimento de resíduos vegetais ao solo.

#### 2.2.1.1 Densidade, porosidade, resistência à penetração e estabilidade de agregados em água

A densidade é um indicador importante da qualidade física do solo, de fácil e rápida determinação, e pode ser usada para comparações entre distintas situações ou entre diferentes camadas. A macroporosidade é um atributo importante para o desenvolvimento radicular e conseqüentemente da parte aérea das plantas. De acordo com Xú et al. (1992) valores de

macroporos devem ser de pelo menos 10% do volume total do solo para permitir trocas gasosas e líquidas entre o solo e a atmosfera.

Em sistemas de manejo do solo com baixo grau de mobilização como na semeadura direta, observa-se menor macroporosidade e porosidade total na superfície e maior em subsuperfície, quando comparadas ao preparo convencional com intenso revolvimento (ALBUQUERQUE et al., 2005).

Bertol et al. (2004) em experimento com sistema de cultivo em rotação e sucessão de culturas, sob semeadura direta e preparo convencional ao longo de seis anos, concluíram ser necessário um período de tempo maior de avaliações para que a rotação de culturas expresse seus benefícios, em relação à sucessão, sobre a porosidade do solo.

Como a magnitude do efeito do sistema de manejo sobre as propriedades físico-hídricas do solo depende, entre outros fatores, do tempo de sua adoção (COSTA et al., 2003), este pode exigir tempos diferentes para promover mudanças estruturais no solo em plantio direto, e conseqüentemente, aumentar a água armazenada e disponível às plantas, com isso os sistemas de manejo adaptam-se diferentemente a cada região e a sua condição edafoclimática particular (AGUIAR & SILVA et al., 2012).

A diminuição das operações agrícolas não é condição suficiente para evitar a compactação, a menos que seja suplementada com rotação de culturas e com uso de plantas que produzam grande quantidade de massa para promover a cobertura do solo e que possuam sistema radicular profundo, capazes de diminuir a compactação e aumentar a porosidade (CARDOSO et al., 2003). Conforme Bertol et al. (2004) é afetada pelo manejo do solo, onde as operações de preparo e semeadura das culturas influenciam na qualidade do ambiente radicular, pelas alterações no tamanho e distribuição dos poros do solo. De acordo com Bertol et al. (2001) a resistência do solo a penetração é afetada pela densidade do solo, sendo

maior no sistema de semeadura direta comparado ao sistema de manejo convencional e campo natural, na camada superficial do solo. Conforme os autores esse resultado se deve ao fato do solo não sofrer revolvimento e ser submetido ao tráfego de máquinas e implementos, provocando maior adensamento de solo.

De acordo com Freddi et al. (2006), a resistência mecânica do solo à penetração exerce grande influência sobre o desenvolvimento vegetal, afetando principalmente as raízes e conseqüentemente a produtividade das culturas. Silva et al. (2002) constataram que 2,0 MPa de resistência à penetração do solo foi condição restritiva ao crescimento das raízes e à parte aérea da soja.

Trabalho desenvolvido por Rosolem et al. (1999) concluíram que as raízes de milho podem ser prejudicadas pelo aumento da resistência do solo a penetração, principalmente em solos argilosos, sendo recomendado o uso de práticas que melhorem esta característica, proporcionando um ambiente desejável no sistema agrícola. De acordo com Albuquerque et al. (2001) as modificações nas propriedades físicas do solo, principalmente relacionadas ao tráfego de máquinas e animais observadas no sistema de integração lavoura-pecuária, afetaram de forma negativa o crescimento e a produtividade da cultura do milho.

Em geral, as camadas compactadas apresentam pequena quantidade de raízes no seu interior, conseqüentemente, com baixa atividade biológica e macroporosidade (CARDOSO et al., 2003). A manutenção e a recuperação das características físicas do solo pode ser viabilizada pela adoção de práticas de manejo do solo, especialmente sistemas de rotação de culturas que incluam espécies vegetais com raízes agressivas e abundantes e com alta produção de biomassa, e que contribuam na diminuição dos efeitos da compactação do solo (CUBILLA et al., 2002). Silva et al. (2007) ao incluir nabo forrageiro na

rotação de culturas, observaram um aumento no rendimento do milho, sem aumentar o aporte de N no sistema.

Segundo Foloni et al. (2006), o sistema radicular das plantas provoca modificações no solo ao penetrar camadas com alta resistência mecânica a penetração, e após a decomposição, deixam canais que favorecem a infiltração de água e difusão de gases, melhorando a qualidade física do solo para as culturas subsequentes.

As raízes podem estar envolvidas, direta ou indiretamente, na estabilização do solo. Diretamente, o emaranhado que elas formam aproxima e protege os agregados do solo, em especial os macroagregados e, indiretamente, devido à decomposição das mesmas, fornecendo materiais orgânicos estabilizantes e deposita carbono abaixo da superfície do solo (VEZZANI & MIELNICZUK, 2011). Algumas espécies produzem enorme quantidade de raízes, como as gramíneas que possuem sistema radicular abundante, embora não possuam raízes muito desenvolvidas (JIMENEZ et al., 2008).

O crescimento radicular pode incrementar a matéria orgânica ao longo do perfil do solo, a qual promove a estabilização dos agregados e reduz a susceptibilidade do solo à compactação (SANTOS et al., 2010).

De acordo com Amado et al. (2001), é provável que o aumento da produtividade das culturas comerciais em sucessão ao uso de plantas de cobertura, principalmente leguminosas, também ocasione incremento na adição de resíduos não colhidos ao solo, acumulando-os na superfície e ocasionando um incremento de matéria orgânica.

### **2.2.2 Atributos químicos do solo**

Os nutrientes aplicados como fertilizantes ou reciclados pelo cultivo de plantas expressam comportamentos distintos. Os nutrientes provenientes dos corretivos de acidez (Ca e Mg)

têm comportamento variável nos sistemas de manejo do solo, sendo dependente do tipo de solo, das culturas utilizadas, do clima e das diferenças de mobilidade de cada elemento no solo, sendo o acúmulo superficial de Ca e Mg em solos sob semeadura direta observados frequentemente (OLIVEIRA & PAVAN, 1996).

Em relação ao P, por ser um nutriente de baixa mobilidade, Almeida et al. (2005) constataram que, na semeadura direta, ocorreu maior acúmulo desse elemento nos centímetros mais superficiais do solo.

O comportamento do K nesse sistema de manejo do solo tem sido variável, na maioria das vezes, ocorrendo concentração maior do nutriente na superfície (DE MARIA & CASTRO, 1993).

A utilização de plantas de cobertura do solo possibilita a manutenção ou recuperação dos teores de matéria orgânica no solo em sistemas de manejo conservacionista como a semeadura direta ou cultivo mínimo, resultando em menores taxas de perdas e maiores taxas de adição de MO no sistema solo (BAYER & MIELNICZUK, 2008). De acordo com os mesmos autores a disponibilidade de N para o desenvolvimento das culturas é muito importante, principalmente em solo com baixos teores e degradados. Assim, é necessária a inclusão de leguminosas em sistemas de cultivo para a recuperação dos estoques de C e N do solo.

### 2.3 COBERTURA DO SOLO PELO DOSSEL DAS PLANTAS

A proteção do solo pelas plantas está diretamente relacionada com o seu desenvolvimento em altura e cobertura pelo seu dossel, e estes são dependentes da espécie de planta cultivada com o propósito de proteção do solo. O fator velocidade de crescimento e cobertura do solo tem grande influencia nos processos erosivos, pois no início do

desenvolvimento o solo se encontra com pouca cobertura, sendo um período crítico para perdas de solo e água (AGOSTINETO 2000; BEZERRA et al., (2006).

No que se refere à cobertura do solo pelo dossel das plantas, o seu aumento no tempo deve-se ao crescimento progressivo destas. Contudo, os valores de cobertura do solo pelo dossel das plantas é explicado pela diferença na sua constituição morfológica e arquitetônica (De MARIA & LOMBARDI NETO, 1997).

Amaral et al. (2009) avaliando características morfológicas em plantas de cultivares de aveia obtiveram cobertura média pelo dossel de 22,4% e 49% aos 16 e 29 dias após a emergência, respectivamente, enquanto que a estatura média das plantas foi de 19,8, 29,2 e 101 cm aos 16, 29 e 118 dias após a emergência, respectivamente.

Luciano et al. (2009) obtiveram cobertura do solo pelo dossel vegetativo maior na aveia em relação a ervilhaca até 70 dias após a emergência das espécies e, ao final do ciclo de desenvolvimento, apresentaram cobertura de 95% e 100%, respectivamente.

## 2.4 PLANTAS DE COBERTURA E PRODUÇÃO DE BIOMASSA VEGETAL

O uso de espécies consorciadas tem se mostrado vantajoso em relação a produção de biomassa. De acordo com Silva et al. (2006) o consórcio de nabo forrageiro com aveia preta aumentou a produção de fitomassa aportada ao solo quando comparado ao cultivo da aveia preta solteira.

Silva et al. (2011) avaliando diferentes culturas como plantas de cobertura do solo em um Latossolo Vermelho distroférico muito argiloso, concluíram que o consórcio nabo forrageiro + ervilhaca + aveia preta obteve maior massa, e uma das maiores persistências de resíduos no solo 100 dias após o manejo das culturas. Doneda et al. (2012) avaliando plantas de

cobertura, apresentaram o nabo forrageiro como a espécie que, em cultivo solteiro, produziu a maior quantidade de matéria seca ( $8,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), seguido da ervilha forrageira ( $5,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), e da aveia preta  $3,3 \text{ (Mg ha}^{-1})$ . Nos cultivos em consórcio a aveia + nabo forrageiro e aveia + ervilhaca, produziram  $7,1$  e  $3,8 \text{ Mg ha}^{-1}$ , respectivamente. Segundo os mesmos autores, o comportamento observado foi atribuído ao rápido crescimento inicial da espécie de nabo forrageiro.

Avaliando o consórcio entre aveia e nabo, Giacomini et al. (2003) concluíram que em solos com maior disponibilidade de N o nabo apresenta maior taxa de crescimento que a aveia, competindo mais eficientemente por nutrientes, água e radiação solar. Os mesmos autores observaram que, entre as culturas isoladas, a aveia apresentou produção semelhante à do nabo forrageiro, sendo ambos superiores a produção da ervilhaca.

Diferentes resultados de produção de biomassa vegetal das mesmas espécies em áreas distintas são esperados, pela grande variabilidade das características de solo, tanto em fertilidade (características químicas) como em textura e estrutura (características físicas). A fertilidade do solo representa a reserva de nutrientes disponível às plantas. Quanto maior sua disponibilidade, maior a extração pelas plantas favorecendo seu desenvolvimento. Solos com características físicas desfavoráveis ao desenvolvimento do sistema radicular prejudicam o desenvolvimento da parte aérea (DONEDA et al., 2012). Além dessas, as características climáticas, peculiares de cada região, influenciam o desenvolvimento (RIZZARDI et al., 2006)

## 2.5 INFLUÊNCIA DAS PLANTAS DE COBERTURA DO SOLO SOBRE A PRODUTIVIDADE DE CULTURAS EM SUCESSÃO

As plantas de cobertura do solo que antecedem as culturas de interesse econômico exercem influência sobre o



rendimento das culturas. De acordo com Silva et al. (2007), sob baixa disponibilidade de N no solo, as consorciações de uma gramínea com uma espécie da família das leguminosas ou das brássicas, no inverno, de uma forma geral, aumentam o rendimento de grãos da cultura do milho, em relação à sucessão à gramíneas como a aveia preta em cultivo isolado.

Heinrichs et al. (2001) avaliaram as culturas de aveia e ervilhaca em cultura solteira e consorciadas, e em diferentes porcentagens de cada espécie no consórcio. Observaram que a medida em que se aumentou a participação da cultura da aveia no consórcio, houve uma diminuição no fornecimento de N ao milho, refletindo diretamente na redução da produtividade do mesmo. Os autores salientam que apesar do aumento na proporção da ervilhaca ter favorecido o suprimento de N ao milho, este provocou diminuição no tempo de permanência dos resíduos culturais na superfície do solo, deixando-o mais desprotegido.

Rizzardi et al. (2006) concluíram que os resíduos de nabo forrageiro mantidos na superfície do solo reduziram o número de plantas daninhas emergidas, permitindo melhor desenvolvimento inicial do milho.

Nicoloso et al. (2008) encontraram maior rendimento de soja em sucessão ao consórcio de nabo forrageiro e aveia atribuindo-o à interação entre a maior porcentagem de cobertura de solo proporcionada, e a elevada produção de fitomassa por este consórcio. A disponibilidade de N pelo nabo forrageiro caracteriza-se pela sua capacidade de extrair N das camadas mais profundas do solo, devido ao desenvolvimento da raiz atingir camadas mais profundas no perfil do solo. No entanto, esta disponibilidade depende da fertilidade do solo; em solo mais fértil a extração é maior em relação aos solos com menor disponibilidade de N. De acordo com Aita e Giacomini (2003), o N da parte aérea do nabo forrageiro tem sua liberação nos primeiros 30 dias após seu manejo, permitindo reduzir o

uso de fertilizantes nitrogenados nas culturas sucessoras, consequentemente diminuindo o custo de produção da lavoura.

Quando a prioridade do cultivo de plantas de cobertura for o fornecimento de N à cultura sucessora, a escolha deve recair sobre as leguminosas ou os consórcios com predominância de leguminosas. Se o objetivo principal for a proteção do solo, o aumento na proporção de gramíneas no consórcio deve ser a estratégia escolhida. Neste caso, haverá necessidade de suplementação de N via adubação mineral, cuja dose será tanto mais elevada quanto maior for a proporção de gramíneas no consórcio (HEINRICHS et al., 2001).

A utilização de plantas de cobertura do solo se faz oportuna em razão da necessidade da produção de palha em áreas de sistema de semeadura direta. Entretanto, pouco se conhece sobre o crescimento e desenvolvimento dessas espécies, bem como sua contribuição para os atributos do solo e na produtividade das culturas comerciais subsequente, para o município de Lages, SC. Dessa forma, justifica-se o desenvolvimento desse trabalho como forma de se obterem dados que sirvam de orientação na escolha das espécies a serem utilizadas como plantas de cobertura.

### **3 HIPÓTESES**

As plantas de cobertura melhoram os atributos físicos e químicos do solo e aumentam a produção de biomassa vegetal, o aporte de nutrientes na planta e a proteção da superfície do solo, em comparação ao pousio;

A produtividade de milho e soja é maior quando se utilizam plantas de cobertura antecedendo os cultivos, em comparação ao pousio;

O uso de leguminosa solteira ou em consórcio como planta de cobertura aumenta o acúmulo de nutrientes e favorece o desenvolvimento das culturas subsequentes.

### **4 OBJETIVOS**

#### **Geral**

Avaliar a produção de biomassa vegetal de diferentes espécies de plantas de cobertura do solo para as condições de Lages - SC, bem como seus efeitos sobre os atributos físicos e químicos do solo e na produtividade das culturas de milho e soja.

#### **Específicos**

Quantificar a produção de biomassa vegetal e avaliar a cobertura do solo proporcionada por espécies de plantas de cobertura.

Determinar os teores e o acúmulo dos nutrientes N, P, K, Ca e Mg no tecido vegetal de plantas de cobertura do solo.

Determinar os atributos físicos relacionados à densidade, porosidade, estrutura e resistência do solo à penetração e os atributos químicos do solo pH, P, K, Ca, Mg e Al após o uso de espécies de plantas de cobertura do solo.

Quantificar a produtividade de milho e soja após o cultivo de diferentes espécies de plantas de cobertura do solo.

## **5 MATERIAL E MÉTODOS**

### **5.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DA ÁREA EXPERIMENTAL**

O experimento foi conduzido entre abril de 2013 e junho de 2014, em campo experimental pertencente ao Centro de Ciências Agroveterinárias – CAV, da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, situado no município de Lages na região do Planalto Sul Catarinense. O clima do local é do tipo Cfb subtropical (mesotérmico – Köppen) (ALVARES et al., 2013), com temperatura média de 14,3°C umidade relativa do ar média de 79,3%. Localiza-se nas coordenadas 27°47'12,9"S e 50°18'25,1"W, com altitude média de 925 m (GOOGLE MAPS, 2014). O relevo da área experimental é suave ondulado com pendentes que variam de 300 a 350 metros de comprimento.

### **5.2 HISTÓRICO DE USO DA ÁREA EXPERIMENTAL E CARACTERÍSTICAS DO SOLO**

A área experimental, historicamente, com campo natural, foi cultivada durante 15 anos com uma sequência de ervilhaca, milho, aveia, soja, nabo forrageiro e feijão. Nos primeiros cinco anos, os cultivos foram manejados com preparo do solo (uma aração e duas gradagens) antes da semeadura das culturas e, nos últimos 10 anos, os cultivos foram realizados sem o prévio revolvimento do solo, sob semeadura direta. A partir de 2008 implantou-se um experimento para estudar a rugosidade superficial do solo, conforme Correa et al. (2012). De novembro de 2012 a maio de 2013, a área foi cultivada com feijão. No início do experimento, realizou-se uma coleta de solo para quantificar os teores de nutrientes e acidez do solo, para posterior correção da acidez (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1 – Características físicas do solo da área experimental em diferentes profundidades e em dois blocos

Prof.	Areia	Silte	Argila	GF	DS	RP	PT	Mi	Ma	DMG
Bloco 1	-----	g.kg <sup>-1</sup>	-----	%	Kg dm <sup>-3</sup>	MPa	-----	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	-----	-----mm---
0 a 5	141	455	405	45	1,3	1,0	0,50	0,44	0,06	3,36
5 a 10	138	445	418	43	1,3	1,2	0,51	0,45	0,05	3,46
10 a 20	135	428	437	43	1,3	1,2	0,51	0,48	0,04	3,57
Bloco 2										
0 a 5	135	476	387	45	1,2	1,3	0,52	0,42	0,11	4,30
5 a 10	131	461	408	43	1,3	1,1	0,51	0,43	0,08	4,28
10 a 20	125	439	436	44	1,3	0,9	0,49	0,44	0,05	4,15

Fonte: Produção do próprio autor;

Notas: GF= grau de floculação; DS= densidade do solo; RP= resistência à penetração; PT= porosidade total; Mi= microporos; Ma= macroporos e DMG= diâmetro médio geométrico.

Tabela 2 – Características químicas do solo da área experimental em diferentes profundidades e em dois blocos

Prof.	pH água	pH SMP	Al	P	K	Ca	Mg
			Cmolc kg			mgkg	
Bloco 1							
0 a 5	4,9	5,1	0,7	2,1	227,0	5,7	1,7
5 a 10	5	5,1	0,9	1,3	126,2	6,0	1,8
10 a 20	4,8	4,8	1,6	1,0	98,7	4,9	1,5
Bloco 2							
0 a 5	5	5,4	0,7	4,1	222,3	5,8	1,7
5 a 10	4,9	5,3	0,8	2,8	138,2	5,5	1,8
10 a 20	4,6	4,7	1,6	1,4	124,7	3,4	1,0

Fonte: Produção do próprio autor.

Notas: Al= alumínio; P= fósforo; K= potássio; Ca= cálcio e Mg= magnésio.

O solo, descrito no local do experimento por Guadagnin, (2003), é um Cambissolo Húmico alumínico léptico (EMBRAPA, 2013), com substratos compostos por siltitos e argilitos segundo.

### 5.3 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

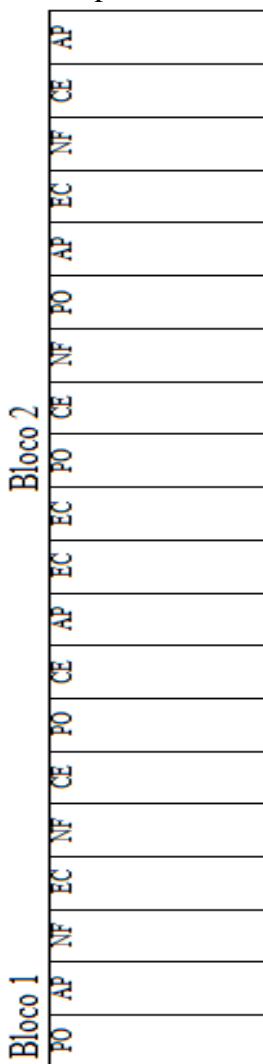
Os tratamentos constituíram-se por diferentes espécies vegetais destinadas a cobertura do solo, como segue: PO - pousio correspondente à vegetação espontânea com predomínio das espécies *Sonchus oleraceus* L. *Lolium multiflorum*, *Trifolium repens*; AP - aveia preta (*Avena strigosa*); NF - nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.); EC - ervilhaca comum (*Vicia sativa*); e CE - consórcio de aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca comum.

A parcela experimental era de 30 m<sup>2</sup>, com dimensões de 10 metros de comprimento e 3 metros de largura. O delineamento experimental foi de blocos casualizados, com duas repetições dentro de cada um dos dois blocos, totalizando quatro repetições de cada tratamento e perfazendo área experimental de 600 m<sup>2</sup> (Figura 1).

O experimento foi conduzido em dois períodos distintos, sendo o primeiro compreendido entre maio e novembro de 2013 e o segundo entre dezembro de 2013 e maio de 2014.

Após o primeiro período de avaliação sob o cultivo das espécies de plantas de cobertura do solo, cada parcela é dividida ao meio em relação ao seu comprimento para implantar o segundo período, do experimento, as culturas de soja e milho para avaliar o efeito do cultivo das espécies de cobertura do solo do primeiro período sobre a produtividade destas culturas.

Figura 1 – Croqui da área experimental



Fonte: Produção do próprio autor.

Notas: PO= pousio; AP= aveia preta; NF= nabo forrageiro; EC= ervilhaca comum; CE= consórcio de aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca comum.



#### 5.4 MANEJO DO EXPERIMENTO DURANTE O PRIMEIRO PERÍODO DE AVALIAÇÃO

Em maio de 2013, antes da implantação dos tratamentos, foi realizada a coleta de solo nas camadas de 0 a 5, 5 a 10 e 10 a 20 cm em três posições de cada bloco, para fins de caracterização física e química da área experimental (Tabelas 1 e 2). Após a coleta foi efetuada uma aplicação do herbicida Glifosato na dose de 3 L ha<sup>-1</sup> para controle de plantas existentes no local.

Em junho de 2013 foi realizada a correção da acidez do solo com aplicação de calcário dolomítico (PRNT 80%) na dose de 10 t ha<sup>-1</sup>, de acordo com CQFS RS/SC (2004). A aplicação foi efetuada superficialmente com auxílio de um distribuidor de calcário acoplado ao trator.

A semeadura das espécies das plantas de cobertura ocorreu em seis de julho de 2013, com 80, 80 e 25 kg ha<sup>-1</sup> de sementes nos tratamentos de aveia preta (AP), ervilhaca comum (EC) e nabo forrageiro (NF) respectivamente. Para o tratamento constituído de consórcio (CE) utilizou-se uma mistura de sementes de aveia, ervilhaca e nabo forrageiro nas proporções de 30, 40 e 10 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente. A semeadura ocorreu sem prévio revolvimento do solo, com o auxílio de uma semeadora de parcelas experimentais e espaçamento entre linhas de 0,22 m, perfazendo um total de 7 linhas por parcela. Foram aplicados 150 kg ha<sup>-1</sup> do adubo superfosfato triplo (41% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), nos tratamentos AP, EC, NF e CE. Nos tratamentos AP e NF foram aplicados 45 kg ha<sup>-1</sup> de ureia (45% de N) no momento da semeadura e 90 kg ha<sup>-1</sup> em cobertura 50 dias após a semeadura. Nos tratamentos EC e CE não foi aplicado N pelo fato da ervilhaca fixar biologicamente N. A quantidade de fertilizantes aplicados seguiu as recomendações de CQFS RS/SC (2004). No tratamento PO não houve aplicação de adubo, pelo fato de ser considerado a testemunha.

O controle de plantas invasoras durante o período de desenvolvimento das espécies de interesse experimental foi realizado manualmente, com exceção do tratamento PO, no qual foi mantida a vegetação espontânea.

## 5.5 COLETAS DOS DADOS E DETERMINAÇÕES

Foram definidos pontos de coleta em três locais distintos dentro de cada parcela para as avaliações. Cada ponto foi demarcado com estacas formando um quadro de 0,6 x 0,6 m (0,36 m<sup>2</sup>), cada um contendo três fileiras de plantas.

### 5.5.1 Avaliação de altura das plantas

A avaliação de altura de plantas foi realizada com o auxílio de uma trena, efetuando-se 18 leituras por ponto de coleta (por quadro), perfazendo um total de 54 leituras por parcela no somatório dos três pontos. A primeira avaliação ocorreu no dia 26 de julho de 2013, 20 dias após a semeadura e as demais, feitas a cada 15 dias até as culturas atingirem o pleno florescimento, período este considerado o de maior acúmulo de biomassa vegetal. O cronograma com as datas de avaliação pode ser visualizado nas tabelas 3 e 4.

Tabela 3 - Datas de semeadura e de coleta de dados nas parcelas

	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>
Semeadura	Coleta	Coleta	Coleta	Coleta	Coleta	Coleta	Coleta
06/07/13	26/07	10/08	25/08	09/09	24/09	09/10	24/10/13

Fonte: Produção do próprio autor

Tabela 4 - Data da coleta final e o número de dias até o pleno florescimento de cada espécie vegetal

Coleta final	Nabo forrageiro	Pousio	Aveia	Consórcio	Ervilhaca
	05/10/13	12/10/13	25/10/13	31/10/13	14/11/13
DAS	90	97	110	116	130

Fonte: Produção do próprio autor

### 5.5.2 Avaliação de cobertura do solo pelo dossel das plantas

A cobertura do solo pela parte aérea das plantas foi realizada com o auxílio de uma máquina fotográfica digital, tendo sido capturada uma imagem de cada um dos pontos de coleta por parcela, a uma distancia vertical de um metro do alvo. As imagens foram submetidas ao software SisCob<sup>®</sup>, desenvolvido pela Embrapa (Jorge & Silva, 2009), obtendo-se a porcentagem de cobertura do solo pelo dossel das plantas. As épocas das avaliações foram as mesmas das determinações de altura de plantas (Tabelas 3 e 4).

### 5.5.3 Coleta da parte aérea das plantas

No momento em que as culturas atingiram o pleno florescimento, efetuou-se a coleta da parte aérea das plantas para quantificar a produção de massa verde e seca e determinar os teores de nutrientes imobilizados na massa seca das plantas de cobertura. Para isso, foi coletada toda a massa vegetal de cada um dos três pontos de cada parcela. A coleta precedeu-se com o corte rente ao solo de todo material vegetal, e posteriormente efetuou-se a pesagem para quantificar a massa verde. Em seguida o material foi levado a estufa com circulação forçada de ar a uma temperatura entre 35 e 40°C até atingir peso constante durante aproximadamente 5 dias para determinar a massa seca. O material foi submetido a moagem

em moinho de facas do tipo Willye, para posterior análise química do tecido vegetal.

#### **5.5.4 Coleta das raízes das plantas**

Após coleta da parte aérea, procedeu-se a coleta da massa de raízes das plantas, no mesmo local de amostragem. Foram retiradas três subamostras, em cada quadro de cada parcela, na camada de 0 a 20 cm de profundidade do solo, sendo uma na linha e mais duas, uma em cada entrelinha das plantas, totalizando nove subamostras em cada unidade experimental. Para isso, utilizou-se um trado de ferro de formato cilíndrico com 5,5 cm de diâmetro. Após procedeu-se, em laboratório, a separação do solo e das raízes com o auxílio de uma peneira de abertura de malha de 5 mm, onde manualmente separou-se as raízes maiores. A massa de solo com raízes menores e mais finas foram submetidas durante 30 minutos a uma mistura de água e NaOH 1 N, na proporção de 10 L de água e 10 ml de NaOH, para dispersão da argila e separação das raízes. O material foi submetido a decantação e o sobrenadante contendo as raízes, foi lavado e tamisado em água com o auxílio de uma peneira de abertura de malha de 0,5 mm. Em seguida, as amostras foram postas em estufa com circulação forçada de ar a uma temperatura de 35 a 40°C até atingir peso constante (aproximadamente 5 dias) para quantificar a massa seca total de raízes. Então, foram submetidas a moagem no moinho de facas tipo Willye, para posterior análise química.

#### **5.5.5 Coleta de amostras do solo e análises físicas e químicas**

Após a coleta das raízes das plantas, foram coletadas amostras do solo com estrutura indeformada em anéis volumétricos de 133,90 cm<sup>3</sup> nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10

e 10 a 20 cm em duas subamostras por parcela. No laboratório, os anéis foram saturados e submetidos às tensões de 6 e 10 kPa em mesa de coluna de areia, pelo método descrito por EMBRAPA (1997). Após equilíbrio da tensão a 10 kPa, correspondente a umidade na capacidade de campo, procedeu-se a medição da resistência do solo à penetração - RP (penetrômetro de bancada, tipo estático MA 933 MARCONI) de uma haste metálica com cone de ângulo de 30° e 4 mm de diâmetro, a uma velocidade de penetração de 30 mm min<sup>-1</sup>. Em cada amostra, foram obtidas três medidas de RP. Posteriormente, os anéis volumétricos foram secos em estufa a 105°C, por pelo menos 24 horas, para determinação da densidade do solo, a qual foi calculada pela divisão da massa do solo pelo volume do anel.

O volume total de poros foi calculado com o peso dos anéis saturados e secos em estufa a 105°C por 24 h (diferença entre o peso do solo saturado e o peso do solo seco dividida pelo volume), o volume de microporos foi obtido após tensão das amostras a 6 kPa e seco em estufa a 105°C por 24 h (diferença entre o peso do solo na tensão de 6 kPa e o peso do solo seco dividida pelo volume) e os macroporos calculados pela diferença entre o volume total de poros e o volume de microporos, segundo o método descrito em EMBRAPA (1997).

No campo foi determinada a resistência do solo a penetração com um penetrógrafo digital, modelo penetroLOG-Falker- PLG1020, sendo realizadas 20 medidas aleatórias de RP por parcela até a profundidade de 20 cm.

No momento da coleta de solo com estrutura indeformada retiraram-se amostras deformadas do solo nos mesmos locais e nas mesmas profundidades, as quais foram usadas para determinar a estabilidade dos agregados em água pelo método da via úmida padrão (KEMPER, & CHEPIL, 1965).

Outra parte das amostras foi seca ao ar, moída e passada em peneira com malha de 2 mm (Terra Fina Seca ao Ar). Nela procedeu-se as análises químicas para determinar pH em água e em SMP, P extraível (leitura em espectrofotômetro de absorção molecular na região visível em 660 nm), K trocável (leitura em espectrofotômetro de emissão atômica em chama), Ca e Mg extraíveis (leitura em espectrofotômetro de absorção atômica em chama) e Al trocável (leitura por titulometria). Todas as metodologias foram feitas segundo Tedesco et al. (1995).

### **5.5.6 Análises químicas do solo e do tecido vegetal**

As amostras de parte aérea e raízes foram secas e moídas conforme descrito anteriormente. A seguir foi procedida a digestão ácida do tecido vegetal com  $H_2O_2$  e  $H_2SO_4$  pelo método descrito por Tedesco et al. (1995). A partir das alíquotas obtidas determinou-se o N pelo método Kjeldahl. Foi usada digestão nitro-perclórica para determinar o P (leitura em espectrofotômetro de absorção molecular na região visível em 660 nm), e o K, Ca e Mg (leitura em espectrofotômetro de absorção atômica em chama). As quantidades totais de nutrientes nas plantas foram calculadas pelo produto entre o teor do elemento no tecido vegetal e a quantidade de biomassa seca produzida.

## **5.6 MANEJO DO EXPERIMENTO DURANTE O SEGUNDO PERÍODO DE AVALIAÇÃO**

Após o primeiro período de avaliação, iniciou-se o segundo período, com o objetivo de avaliar o efeito dos tratamentos de cobertura do solo sobre a produtividade das culturas comerciais. Efetuou-se o manejo das plantas de cobertura com auxílio de rolo faca e posteriormente aplicou-se

o herbicida glifosato na dose de  $3 \text{ L ha}^{-1}$ , com um pulverizador acoplado ao trator, para o controle de plantas espontâneas.

Em seguida as parcelas foram divididas ao meio em relação ao seu comprimento, de modo que numa das metades foi semeado milho da variedade Codetec 308 híbrido duplo, na densidade de semeadura de sete sementes por metro quadrado, e na outra, soja transgênica da variedade Brasmax Força RR, na densidade de semeadura de treze sementes por metro quadrado, na data de 29 de novembro de 2013. O espaçamento entre linhas de ambas as culturas foi de 0,45 m. A adubação mineral ocorreu somente em 50% das linhas de plantio das parcelas de pousio, com intuito de avaliar a produtividade de milho e soja em função da fertilização para altos rendimentos, seguindo recomendações da CQFS RS/SC (2004). No milho foram aplicados  $160 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $110 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  e  $30 \text{ kg ha}^{-1}$  de N na semeadura e  $115 \text{ kg ha}^{-1}$  em cobertura, enquanto na soja foram aplicados  $90 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $98 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  e  $20 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, no momento da semeadura.

Durante o desenvolvimento das plantas de milho e soja, foi realizado o controle de plantas espontâneas com uso de herbicidas e arranquio manual.

A colheita foi realizada no momento em que as culturas estavam no período de maturação fisiológica (soja em abril de 2014 e milho em maio de 2014), sendo colhidos três metros das três fileiras centrais, perfazendo um total de nove metros lineares ( $4,05 \text{ m}^2$  por parcela). Nas parcelas de pousio, com aplicação de adubo, foram colhidos  $2,7 \text{ m}^2$  por parcela e nas de pousio sem adubo  $1,35 \text{ m}^2$  por parcela. Na cultura do milho o material foi cortado rente ao solo e pesado para determinação da massa seca de parte aérea e foram retiradas as espigas para avaliação da produtividade dos grãos e o peso de mil sementes. Na soja todo o material foi seco em estufa de circulação de ar a  $60^\circ\text{C}$  até peso constante, sendo trilhado manualmente e avaliada a produtividade de grãos e peso de mil sementes.

Foi determinada a umidade dos grãos de milho pelo método descrito pela RAS (Regras de Análise de Sementes) com secagem em estufa a alta temperatura (130-133°C) durante 4 horas e após as amostras foram padronizadas a 12% de umidade. A determinação do peso de mil sementes foi realizada pelo método manual de contagem de um mil sementes. Na soja a umidade foi determinada pelo método da RAS com secagem em estufa a 105°C durante 24 horas com os grãos inteiros. O peso de mil sementes foi determinado com auxílio de uma bandeja, sendo contadas 50 sementes por vez, uma em cada orifício distribuído na mesma, perfazendo 20 subamostras para compor uma amostra composta em cada tratamento, sendo padronizados para umidade de 12%.

## 5.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Os resultados, após a verificação das pressuposições teóricas, foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos, quando necessário, foram comparadas pelo teste Tukey. Também foi efetuada análise de correlação linear entre os atributos físicos do solo, e entre o acúmulo de nutrientes pelas plantas de cobertura e o rendimento de milho e soja. Todas as análises foram conduzidos com o uso do software SAS<sup>®</sup> (Statistical Analysis System, 2003). Em todos os testes foi adotado o nível mínimo de significância de 5%.



## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 EFEITOS DO USO DE PLANTAS DE COBERTURA SOBRE OS ATRIBUTOS DO SOLO

#### 6.1.1 Densidade e porosidade do solo e resistência à penetração

A densidade do solo variou entre 1,25 e 1,39 kg dm<sup>-3</sup> (Tabela 5), sendo que nas profundidades de 0 a 5 e 5 a 10 cm foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos. Na camada de 0 a 5 cm, o tratamento consórcio apresentou densidade de 1,39 kg dm<sup>-3</sup> seguido do nabo forrageiro e aveia preta com 1,36 e 1,34 kg dm<sup>-3</sup>, respectivamente, os quais não diferiram significativamente do pousio com 1,29 kg dm<sup>-3</sup>. Na ervilhaca o solo apresentou a menor densidade, porém não diferindo estatisticamente dos tratamentos pousio e aveia preta, com média de 1,33 kg dm<sup>-3</sup> entre eles.

A densidade do solo tendeu a diminuir em profundidade, comportamento este que foi também observado por Bertol et al. (2004) para o sistema de semeadura direta com sucessão de culturas após 12 anos de cultivo. Andrade et al. (2010) apresentaram dados com comportamento oposto ao desse trabalho.

De maneira geral, o tratamento com ervilhaca apresentou a menor densidade do solo entre os tratamentos e profundidades, tendo sido menor também do que o tratamento pousio onde não houve trânsito de máquinas, pelo fato de se avaliar somente a vegetação espontânea. De acordo com Albuquerque et al. (2001), o aumento da densidade do solo, pode ser causado pela compactação, sendo esta causada pelo trânsito de máquinas e implementos agrícolas utilizados no

plântio no período de inverno, quando a umidade do solo é, geralmente, elevada.

No geral os valores de densidade do solo variaram em 10% entre os tratamentos, e apesar da diferença estatística observada entre eles, esta variável foi pouco influenciada pelas espécies de plantas de cobertura do solo testadas.

Tabela 5 - Determinações físicas do solo relacionadas a densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (Ma) e microporosidade (Mi), nos tratamentos em três profundidades.

Tratamento	Ds	Pt	Ma	Mi
	kg dm <sup>-3</sup>	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>
Profundidade de 0-5 cm				
Pousio	1,29 bc	0,53 a	0,15 a	0,37 ns
Aveia	1,34 abc	0,50 ab	0,11 ab	0,38 ns
Nabo	1,36 ab	0,51 ab	0,12 ab	0,39 ns
Ervilhaca	1,27 c	0,46 c	0,09 b	0,37 ns
Consórcio	1,39 a	0,48 bc	0,08 b	0,39 ns
CV (%)	2,84	3,81	19,11	3,18
Profundidade de 5-10 cm				
Pousio	1,30 ab	0,52 a	0,13 ns	0,38 bc
Aveia	1,34 ab	0,49 ab	0,12 ns	0,37 bc
Nabo	1,33 ab	0,51 ab	0,11 ns	0,40 ab
Ervilhaca	1,26 b	0,48 b	0,11 ns	0,37 c
Consórcio	1,38 a	0,50 ab	0,09 ns	0,41 a
CV (%)	3,79	3,09	18,79	3,44
Profundidade de 10-20 cm				
Pousio	1,34 ns	0,49 ns	0,09 ns	0,40 ns
Aveia	1,35 ns	0,49 ns	0,10 ns	0,39 ns
Nabo	1,27 ns	0,52 ns	0,12 ns	0,39 ns
Ervilhaca	1,25 ns	0,49 ns	0,12 ns	0,37 ns
Consórcio	1,33 ns	0,51 ns	0,11 ns	0,40 ns
CV (%)	4,37	3,94	24,83	4,12

Fonte: Produção do próprio autor

Notas: Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. ns - efeito entre tratamentos não significativo por meio de análise de variância a 5%.

A porosidade total do solo variou entre 0,46 e 0,53  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ , sendo que o tratamento pousio na camada 0 a 5 cm (Tabela 5) apresentou 0,53  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$  sem diferença estatística do nabo forrageiro e aveia preta com 0,51 e 0,50  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$  respectivamente. Na ervilhaca o solo apresentou porosidade total de 0,46  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$  e não diferiu do consórcio.

Na camada de 5 a 10 cm, o tratamento pousio apresentou o maior valor de porosidade total com 0,52  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$  e a ervilhaca o menor com 0,48  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ , sendo que os demais tratamentos foram intermediários não diferindo estatisticamente, com média de 0,50  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ . A camada de 10 a 20 cm de profundidade não apresentou efeito significativo entre os tratamentos, apresentando 0,50  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$  do total de poros. Costa et al. (2006), trabalhando com o mesmo solo obtiveram, nas mesmas camadas, porosidade com 0,60, 0,54 e 0,54  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$  respectivamente nos tratamentos, em experimento com aplicação superficial de calcário em sistema de semeadura direta, sendo semelhante a forma de aplicação adotada neste trabalho.

A macroporosidade não diferiu significativamente entre os tratamentos nas profundidades de 5 a 10 cm e 10 a 20 cm. Na camada de 0 a 5 cm (Tabela 5), o tratamento pousio apresentou maior valor com 0,15  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ , não diferindo significativamente do nabo forrageiro e aveia preta com 0,12 e 0,11  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ , respectivamente. Os tratamentos ervilhaca e consórcio apresentaram valores de 0,09 e 0,08  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$  de macroporosidade. De acordo com Bertol et al. (2004), estes dados indicam possíveis problemas de infiltração de água, circulação de oxigênio e, conseqüentemente, desenvolvimento das raízes das culturas nas camadas do solo desses tratamentos, principalmente nas que apresentaram volume de macroporos menor do que 10% do total de poros. O pousio apresentou a maior proporção de macroporos nas camadas de 0 a 5 e 5 a 10 cm, podendo atribuir-se esse comportamento ao fato de não ter tráfego de máquinas no momento de semeadura.

A microporosidade apresentou valores entre 0,37 e 0,41  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$  (Tabela 5), sem diferença significativa entre os tratamentos nas camadas de 0 a 5 cm e 10 a 20 cm de profundidade. A média entre os tratamentos nas camadas foi de 0,38, 0,38 e 0,39  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ , respectivamente nas três profundidades avaliadas. Na camada de 5 a 10 cm, o consórcio apresentou a maior proporção de microporos com 0,41  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ , sendo 10,2% maior que na ervilhaca com 0,37  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ , no entanto esta microporosidade não diferiu significativamente do tratamento com nabo forrageiro com 0,40  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ .

Assim no caso da densidade e da porosidade do solo, não se pode afirmar que foram afetadas pelo sistema de cultivo, indicando ser necessário um período de tempo mais longo de realização do experimento para que as plantas de cobertura expressem seu benefício em relação a estes atributos do solo (BERTOL et al., 2004).

A resistência à penetração pelo método do anel volumétrico não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos e as profundidades, com valores entre 0,97 e 1,61 MPa (Tabela 6). Na camada de 0 a 5 cm de profundidade, a média foi de 1,47 MPa, sendo que o pousio apresentou 1,11 MPa, e o consórcio 1,61 MPa, ou seja 31% maior. Os demais tratamentos apresentaram valores intermediários, não diferindo estatisticamente.

As camadas de 5 a 10 cm e 10 a 20 cm de profundidade mantiveram o mesmo comportamento da camada superficial com uma média de 1,17 e 1,18 MPa respectivamente.

A resistência do solo a penetração analisada no campo apresentou comportamento distinto ao método dos anéis, com valores entre 0,36 e 1,78 MPa (Tabela 6), não diferindo significativamente entre os tratamentos. Na camada de 0 a 5 cm de profundidade, a média foi de 0,43 MPa de resistência, sendo que a aveia preta apresentou o menor valor com 0,36 MPa. Esse resultado pode ser atribuído ao volume de raízes produzidas pela aveia preta, com 4,5  $\text{Mg ha}^{-1}$  de massa seca, as

quais por serem fasciculadas e abundantes, concentraram-se na camada mais superficial do solo (FONTANELI et al., 2009).

Tabela 6 - Determinações físicas do solo relacionadas a resistência do solo a penetração nos anéis volumétricos MPa (RP anel) e no campo MPa (R<sub>Pc</sub>), grau de flocculação em % (GF), diâmetro médio geométrico (DMG) em três profundidades.

Tratamento	RP anel	R <sub>Pc</sub>	GF	DMG
	-----MPa	-----	(%)	(mm)
Profundidade de 0-5 cm				
Pousio	1,11 ns	0,55 ns	44,1 ns	5,48 ab
Aveia	1,55 ns	0,36 ns	42,0 ns	5,60 a
Nabo	1,48 ns	0,45 ns	43,5 ns	5,42 ab
Ervilhaca	1,60 ns	0,39 ns	40,9 ns	5,25 b
Consórcio	1,61 ns	0,38 ns	44,3 ns	5,56 a
CV%	15,50	57,91	5,72	2,16
Profundidade de 5-10 cm				
Pousio	1,02 ns	1,78 ns	46,7 ns	5,30 ns
Aveia	1,24 ns	1,44 ns	44,0 ns	5,56 ns
Nabo	1,17 ns	1,65 ns	46,1 ns	5,26 ns
Ervilhaca	1,20 ns	1,78 ns	45,3 ns	5,20 ns
Consórcio	1,24 ns	1,61 ns	46,3 ns	5,31 ns
CV%	18,98	29,23	5,24	4,10
Profundidade de 10-20 cm				
Pousio	1,14 ns	1,47 ns	48,6 ns	5,15 ns
Aveia	1,36 ns	1,26 ns	47,1 ns	5,30 ns
Nabo	0,97 ns	1,38 ns	51,2 ns	4,94 ns
Ervilhaca	1,15 ns	1,53 ns	51,3 ns	4,93 ns
Consórcio	1,30 ns	1,71 ns	49,1 ns	5,25 ns
CV%	17,33	23,95	4,30	3,97

Fonte: Produção do próprio autor

Notas: Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. ns - efeito entre tratamentos não significativo por meio de análise de variância a 5%.

Na camada de 5 a 10 cm e 10 a 20 cm de profundidade obteve-se uma média de 1,65 e 1,47 MPa, com o mesmo

comportamento da aveia preta em relação a primeira camada, ou seja apresentando a mais baixa resistência do solo em relação aos demais tratamentos com 1,44 e 1,26 MPa, respectivamente (Tabela 6).

Comparando a resistência a penetração entre as profundidades observa-se valores distintos entre as camadas; na de 5 a 10 cm de profundidade, a maior resistência foi 1,65 MPa, mostrando-se ser a mais compactada, o que corrobora com o apresentado por Andrade et al. (2010).

A diferença na resistência a penetração entre os dois métodos está relacionado à umidade no momento da avaliação. Nos anéis volumétricos a umidade está uniforme entre todas as amostras. No campo o solo apresenta umidade variável entre tratamentos e entre camadas, onde não se tem controle sobre essa variável.

### **6.1.2 Grau de flocculação da argila e diâmetro médio dos agregados do solo**

O grau de flocculação não apresentou diferença significativa entre os tratamentos, com valores de 40,9 a 51,3%, e média de 43, 45,7 e 49,5% respectivamente nas três profundidades avaliadas (Tabela 6), mostrando um aumento na flocculação da argila em profundidade. Andrade et al. (2010) apresentaram valores superiores aos encontrados nesse trabalho, no mesmo solo, porém em período maior de avaliação, 12 anos. Períodos maiores de avaliação são necessários para se obter resultados referentes aos atributos do solo com o uso de plantas de cobertura.

Para o diâmetro médio geométrico (DMG), não houve diferença significativa entre os tratamentos nas camadas de 5 a 10 e 10 a 20 cm de profundidade, com médias de 5,33 e 5,11 respectivamente. Na camada de 0 a 5 cm, a ervilhaca diferiu estatisticamente da aveia preta e consórcio. Os tratamentos nabo forrageiro e pousio apresentaram resultados

intermediários sem diferença estatística, podendo ser visualizado na tabela 6.

A grande densidade de raízes das gramíneas tem sido associada a efeitos de maior infecção por micorrizas, maior liberação de exsudatos, maior quantidade de raízes finas e maior deposição de matéria orgânica no solo, em relação a outras espécies, como consequência um ambiente favorável à agregação (REINERT, 1993). Isso ocorre principalmente quando as culturas se encontram em plena atividade fisiológica segundo Campos et al. (1999).

De maneira geral os atributos físicos do solo foram pouco influenciados pelo uso de plantas de cobertura do solo. Vários autores relatam comportamento parecido. De acordo com Bertol et al. (2004) os atributos físicos do solo, de maneira geral, são mais influenciados pelos sistemas de preparo do solo do que pelo uso de plantas de cobertura, em curto período de avaliação.

### **6.1.3 Correlações entre os atributos físicos do solo**

Quando os dados foram analisados conjuntamente observa-se algumas correlações entre atributos físicos do solo. A porosidade total teve correlação positiva com a macroporosidade, ( $r = 0,89$ ), na camada de 0 a 5 cm de profundidade, corroborando com Silva et al. (2006). As demais camadas 5 a 10 e 10 a 20 cm apresentaram o mesmo comportamento, com coeficiente de correlação ( $r$ ) de 0,66 e 0,74, respectivamente, como pode ser observado na tabela 7. Em relação a microporosidade não houve correlação em nenhuma camada. Para a densidade do solo na camada superficial não houve correlação, já na camada de 5 a 10 cm e 10 a 20 cm houve correlação com ( $r = - 0,49$  e  $- 0,59$  respectivamente). Essa correlação negativa mostra que em profundidade quanto maior a porosidade total, menor a densidade do solo.

Tabela 7 – Coeficientes de correlação entre os atributos físicos de um Cambissolo Húmico com uso de diferentes plantas de cobertura de inverno.

	Mi	Ma	Ds	Ranel	GF%	Rcampo	DMG
Prof:		0 a 5	cm				
Pt	ns	0,89**	ns	-0,76**	0,46*	ns	ns
Mi		-0,45*	ns	ns	ns	ns	ns
Ma			-0,50*	-0,76**	ns	ns	ns
Ds				0,73**	ns	ns	ns
Ranel					-0,48*	ns	ns
GF						ns	0,57**
Rcampo							ns
DMG							ns
Prof:		5 a 10	cm				
Pt	ns	0,66**	-0,49*	-0,85**	ns	ns	ns
Mi		-0,54**	0,49*	ns	ns	ns	ns
Ma			-0,82**	-0,81**	ns	ns	ns
Ds				0,80**	ns	ns	ns
Ranel					-0,47*	ns	ns
GF						ns	ns
Rcampo							ns
DMG							ns
Prof:		10 a 20	cm				
Pt	ns	0,74**	-0,59**	-0,67**	ns	ns	ns
Mi		-0,55*	ns	ns	-0,48*	ns	ns
Ma			-0,76**	-0,74**	ns	ns	ns
Ds				0,77**	ns	ns	ns
Ranel					ns	ns	ns
GF						ns	ns
Rcampo							ns
DMG							ns

Fonte: Produção do próprio autor

Nota: \* 5% de significância; \*\* 1% de significância; ns não significante; Pt: Porosidade total; Mi: Microporosidade; Ma: Macroporosidade; Ds: Densidade do solo; Ranel: Resistencia penetração nos anéis; GF: Grau de flocculação; Rcampo: Resistencia a penetração no campo; DMG: Diâmetro Médio Geométrico.

A porosidade total mostrou alta correlação negativa com a resistência do solo a penetração ( $r = -0,76$ ;  $-0,85$ ;  $-0,67$ ) nas



três camadas respectivamente, indicando quanto maior a porosidade total, menor a resistência a penetração. Em relação ao grau de floculação, a porosidade total apresentou correlação somente na camada de 0 a 5 cm.

A microporosidade (Tabela 7) apresentou correlação negativa com a macroporosidade nas três profundidades, onde na camada de 5 a 10 apresentou uma significância de  $p < 0,01$  e nas demais  $p < 0,05$ .

Relacionando o grau de floculação e a microporosidade, somente houve correlação e do tipo negativa na camada de 10 a 20 cm de profundidade ( $r = - 0,48$ ).

A macroporosidade apresentou correlação negativa com a densidade do solo com ( $r = - 0,50$ ;  $r = - 0,82$ ; e  $- 0,76$ ) respectivamente. Da mesma forma os macroporos apresentam correlação negativa com a resistência do solo a penetração.

#### **6.1.4 Atributos químicos do solo relacionados ao uso de diferentes plantas de cobertura nas três profundidades analisadas**

De maneira geral, o uso de diferentes espécies de plantas de cobertura do solo não influenciou de forma expressiva os atributos químicos do solo. Na camada de 0 a 5 cm de profundidade (Tabela 8) somente o Mg apresentou diferença significativa entre os tratamentos, onde a ervilhaca apresentou  $2,04 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , diferindo do consórcio, aveia preta e nabo forrageiro, com 2,5, 2,5 e  $2,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , respectivamente.

O Ca teve comportamento semelhante ao Mg com decréscimo nos teores em profundidade onde a camada de 0 a 5 cm apresentou uma média de  $6,9 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  e as demais profundidades com 5,5 e  $4,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  respectivamente.

Tabela 8 – Determinações químicas no solo relacionadas aos teores de Cálcio (Ca) em  $\text{cmol}_c \text{dm}^3$ , Magnésio (Mg) em  $\text{cmol}_c \text{dm}^3$ , Alumínio (Al) em  $\text{cmol}_c \text{dm}^3$ , Fósforo (P)  $\text{mg kg}^{-1}$ , Potássio (K)  $\text{mg kg}^{-1}$  e  $\text{pH}_{\text{água}}$ ,  $\text{pH}_{\text{SMP}}$ .

Tratamento	Ca	Mg	Al	P	K	$\text{pH}_{\text{água}}$	$\text{pH}_{\text{SMP}}$
Profundidade de 0-5 cm							
Pousio	6,39 ns	2,24 ab	0,22 ns	3,21 ns	227,00 ns	6,05 ab	6,25 ab
Aveia	7,88 ns	2,45 a	0,19 ns	3,37 ns	186,25 ns	6,20 a	6,38 a
Nabo	6,63 ns	2,40 a	0,23 ns	3,73 ns	208,13 ns	6,08 ab	6,25 ab
Ervilhaca	6,33 ns	2,04 b	0,19 ns	4,42 ns	214,38 ns	5,70 b	5,98 b
Consórcio	7,39 ns	2,46 a	0,22 ns	3,48 ns	251,50 ns	6,20 a	6,43 a
CV (%)	13,72	6,42	13,96	19,42	18,25	2,95	2,17
Profundidade de 5-10 cm							
Pousio	5,66 ns	1,73 ns	0,88 ns	3,00 ns	201,88 ns	5,70 ns	6,03 ns
Aveia	5,76 ns	1,68 ns	0,71 ns	2,06 ns	119,50 ns	5,65 ns	5,85 ns
Nabo	5,16 ns	1,65 ns	0,72 ns	1,84 ns	142,50 ns	5,55 ns	5,95 ns
Ervilhaca	5,48 ns	1,84 ns	0,61 ns	2,67 ns	170,63 ns	5,63 ns	6,00 ns
Consórcio	5,58 ns	1,91 ns	0,78 ns	2,37 ns	137,50 ns	5,90 ns	6,10 ns
CV (%)	17,44	13,44	36,95	12,26	25,39	3,24	2,85
Profundidade de 10-20 cm							
Pousio	4,56 ab	1,46 b	1,19 b	2,12 ab	120,50 a	5,40 ab	5,68 ns
Aveia	4,77 ab	1,42 b	1,26 b	1,80 ab	94,50 b	5,40 ab	5,65 ns
Nabo	3,59 b	1,20 b	2,15 a	1,52 b	101,25 ab	5,15 c	5,60 ns
Ervilhaca	5,86 a	1,82 a	1,18 b	2,66 a	115,88 ab	5,43 a	5,68 ns
Consórcio	3,38 b	1,26 b	2,40 a	2,15 ab	100,50 ab	5,18 bc	5,60 ns
CV (%)	14,51	10,29	15,79	19,76	9,60	2,09	1,66

Fonte: Produção do próprio autor

Notas: Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. ns - efeito entre tratamentos não significativo por meio de análise de variância a 5%.

De acordo com a CQFS RS/SC (2004) os teores de Ca e Mg podem ser considerados altos, acima da faixa de 4 e 1  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , respectivamente, cuja relação Ca/Mg foi 3:1 em média nas três profundidades avaliadas.

De maneira geral, os teores de Al não apresentaram diferença entre os tratamentos avaliados.

Os teores de P não apresentaram diferenças entre os tratamentos com valores médios de 3,64, 2,38 e 2,05 mg/kg, respectivamente nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10 e 10 a 20 cm de profundidade. De acordo com CQFS RS/SC (2004), os teores de P são considerados muito baixos ( $\leq 3$  com média de 2,69 mg kg), para solos com 41 a 60% de argila.

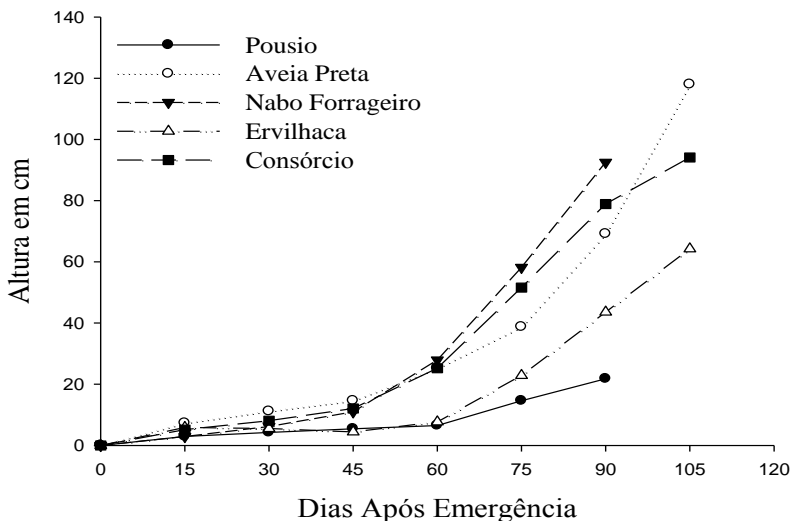
Almeida et al. (2005) e Andrade et al. (2012) encontraram teores maiores na camada superficial. Isso pode estar relacionado ao acúmulo de resíduos na superfície, favorecendo a redistribuição de formas orgânicas desse elemento (SANTOS e TOMM, 2003). Pelo período curto desse trabalho, esse comportamento não foi observado, sendo necessário um período maior de avaliação.

Para o K, os valores corroboram com os apresentados por Almeida et al. (2005) para o mesmo tipo de solo e no sistema de semeadura direta com médias de 217, 154 e 106 mg/kg nas três profundidades respectivamente. O K não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos durante o período avaliado. Conforme CQFS RS/SC (2004), os teores de K são considerados muito altos com  $\text{CTC}_{\text{pH } 7,0} > 15 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , acima de 180  $\text{mg kg}^{-1}$ , o que ocorreu na camada de 0 a 5 cm de profundidade, na camada de 5 a 10 são classificados como altos, estando na faixa de 90 – 180 e na camada de 10 a 20 cm de profundidade também se enquadram nessa faixa.

## 6.2 ALTURA DE PLANTAS E COBERTURA DO SOLO PELO DOSSEL

A altura e a cobertura do solo pelo dossel das plantas aumentam a medida que as culturas se desenvolveram, sendo dependentes da espécie utilizada. No tratamento pousio as plantas apresentaram o menor crescimento em altura, chegando a 20 cm aos 90 dias após a emergência (DAE) das espécies espontâneas. A ervilhaca comum apresentou crescimento semelhante ao pousio até 60 DAE com altura de 10 cm, sendo que após esse período houve um crescimento mais pronunciado e, aos 105 DAE, atingiu 60 cm de altura como pode ser visto na figura 2. As leguminosas, como a ervilhaca, apresentam crescimento prostrado, justificando o menor desenvolvimento em altura (ALCÂNTARA & BUFARAH, 1992). Em contra partida, a cobertura do solo pelo dossel, nos tratamentos com ervilhaca, foi superior aos demais e atingiu valor próximo de 100% aos 90 DAE (Figura 3).

Figura 2 – Altura de plantas (cm) em função de dias após a emergência, nos diferentes tratamentos em Lages, SC



Fonte: Produção do próprio autor

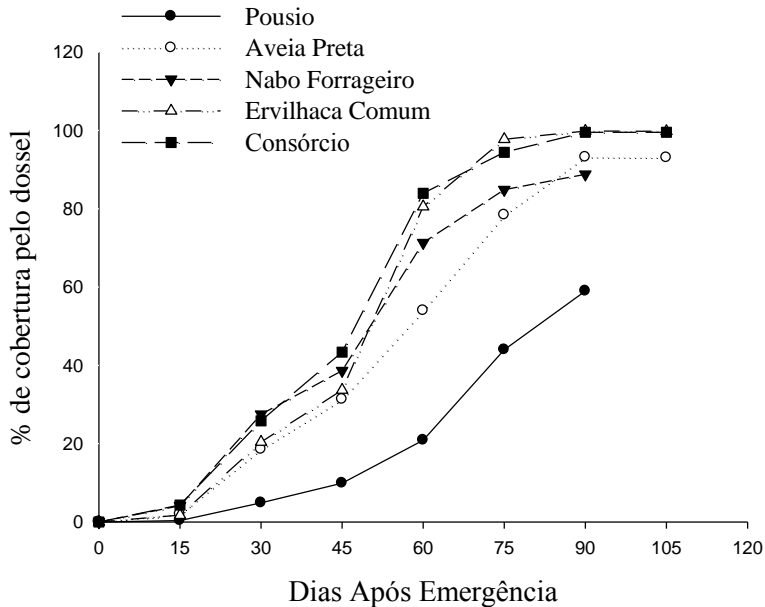
Estes resultados corroboram com os observados por Agostineto et al. (2000), onde a ervilhaca e o trevo se mostraram eficientes em cobrir praticamente 100% da superfície do solo. Segundo Ros & Aita (1996), as leguminosas de crescimento prostrado, como a ervilhaca comum, embora apresentou menor crescimento inicial que outras espécies como a aveia preta, cobriu praticamente 100% da superfície do solo aos 80 DAE.

Os tratamentos aveia preta, nabo forrageiro e consórcio apresentaram um crescimento em altura semelhante até os 60 DAE, com média de 26 cm, sendo superior aos tratamentos pousio e ervilhaca (média de 7cm) como pode ser observado na figura 2. Para este período de avaliação a porcentagem de cobertura pelo dossel foi de 20, 54, 71, 80 e 84%, nos tratamentos pousio, aveia, nabo, ervilhaca e consórcio, respectivamente (Figura 3). Aos 75 DAE o tratamento nabo forrageiro apresentou crescimento em altura superior aos demais, mantendo este comportamento até os 90 DAE, período este em que o nabo encontrava-se em pleno florescimento sendo realizada sua determinação final.

Aos 105 DAE a aveia preta se mostrou superior aos demais com 118 cm de altura, ultrapassando inclusive o consórcio que apresentou altura de 94 cm no período de pleno florescimento. Esta característica de crescimento da aveia preta é explicada pela morfologia da planta, com o colmo cilíndrico, ereto e glabro e composto de uma série de nós e entrenós (FONTANELLI et al., 2009) que lhe conferem sustentação e maior estatura.

A diferença no comportamento das espécies vegetais pode ser devido a fatores climáticos, edáficos e ambientais que interferem no crescimento e na adaptação das espécies às condições edafoclimáticas de cada região (DONEDA et al., 2012; GIACOMINI et al. (2003). Portanto, pode-se inferir que variações dos fatores em uma região podem estimular o desenvolvimento de determinada espécie e inibir outra.

Figura 3 – Cobertura do solo pelo dossel das plantas (%) em função dos dias após a emergência, nos diferentes tratamentos em Lages, SC.



Fonte: Produção do próprio autor

### 6.3 BIOMASSA VEGETAL DE PARTE AÉREA E RAÍZES DAS PLANTAS DE COBERTURA

No sul do Brasil, a aveia preta é uma espécie muito usada pelo alto rendimento de biomassa vegetal. No presente trabalho, isso se confirmou com produção de massa seca da parte aérea (MS) de 9,91 Mg ha<sup>-1</sup>, não diferindo estatisticamente da EC e CE, que produziram 9,14 e 9,68 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. A produção de massa verde (MV) foi superior no AP e CE, sendo de 45,46 e 53,30 Mg ha<sup>-1</sup>,

respectivamente. Cabe destacar que o tratamento PO foi o que apresentou menor produção de MV e MS, diferindo de todos os demais. O NF apresentou produção intermediária (Tabela 9).

Pöttker & Roman (1994) apresentaram produção de matéria verde de aveia e ervilhaca de 29,8 e 20,0 Mg ha<sup>-1</sup> e de massa seca de 5,0 e 3,9 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, na média de dois anos de cultivo, inferiores aos apresentados neste trabalho.

No trabalho de Lázaro et al. (2013), avaliando a produção de MS de plantas de cobertura, os autores obtiveram produção de aveia e ervilhaca inferior e de nabo superior às obtidas neste experimento. Doneda et al. (2012) obtiveram, para o nabo forrageiro, 8,3 Mg ha<sup>-1</sup>, seguido da ervilha forrageira e da aveia preta, com 5,5 e 3,3 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Essas diferenças podem ser explicadas pelo fato de que no presente trabalho os tratamentos foram adubados para expressar sua máxima capacidade de produção.

Outro fator relevante pode estar relacionado a cultivar utilizada, onde Silva et al. (2008) utilizaram diferentes cultivares de aveia, obtendo diferentes produções de MS.

Tabela 9 - Biomassa vegetal de parte aérea, massa seca da parte aérea e raízes de plantas de cobertura em Mg ha<sup>-1</sup>, para Lages -SC.

Tratamento	Matéria verde	Massa seca		
		Parte aérea	Raiz	Total
Pousio	11,482 d	1,875 c	1,345 d	3,220 d
Aveia	45,463 ab	9,908 a	4,534 a	14,442 a
Nabo	30,463 c	4,259 b	1,857 cd	6,116 c
Ervilhaca	40,648 b	9,144 a	2,407 bc	11,551 b
Consórcio	53,299 a	9,676 a	3,019 b	12,695 ab
CV (%)	12,44	14,41	16,14	12,60

Fonte: Produção do próprio autor

Nota: Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Para as culturas de ervilhaca e nabo forrageiro Lázaro et al. (2013) apresentou uma produção de 3,6 Mg ha<sup>-1</sup> e 5,3 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, enquanto no presente trabalho, obteve-se a produção de 9,1 Mg ha<sup>-1</sup> e 4,2 Mg ha<sup>-1</sup> respectivamente (Tabela 9), ou seja um comportamento inverso entre as culturas. Doneda et al. (2012) apresentaram o nabo forrageiro como a espécie que, em cultivo puro, produziu a maior quantidade de MS, 8,3 Mg ha<sup>-1</sup>, seguido da ervilha forrageira, 5,5 Mg ha<sup>-1</sup>, e da aveia-preta, 3,3 Mg ha<sup>-1</sup>. Já Heins et al. (2011) obtiveram produção de 5,5 Mg ha<sup>-1</sup> para o nabo forrageiro.

Pöttker & Roman, (1994) trabalhando com ervilhaca, apresentaram uma produção de MV de 20 Mg ha<sup>-1</sup> e MS de 3,9 Mg ha<sup>-1</sup>, sendo que no período de avaliação houve danos causados por fatores climáticos que prejudicaram o desenvolvimento da cultura.

A produção de MS de raízes na camada de 0 a 20 cm de profundidade do solo foi superior no tratamento com aveia preta (4,5 Mg ha<sup>-1</sup>), seguido pelos tratamentos consórcio e ervilhaca com 3,0 e 2,4 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. O tratamento pousio que apresentou a menor produção de MS de raízes com 1,3 Mg ha<sup>-1</sup>, não diferiu estatisticamente do nabo (1,9 Mg ha<sup>-1</sup>). A produção de MS total foi maior nos tratamentos aveia e consórcio com 14,4 e 12,7 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

## 6.4 NUTRIENTES NO TECIDO VEGETAL DAS PLANTAS DE COBERTURA DO SOLO

### 6.4.1 Teores de nutrientes no tecido vegetal

Os teores de nutrientes no tecido vegetal (raízes e parte aérea) dependem da espécie utilizada. De acordo com CQFS RS/SC (2004) uma faixa de suficiência para a aveia seria entre 3,0 a 4,5% para o N. Neste trabalho, ocorreu um valor abaixo (1,51%) (Tabela 10). Para o P com 0,02%, da mesma forma



apresentou valor abaixo da faixa de suficiência (0,2 a 0,5%) mostrando uma deficiência em N e P durante seu desenvolvimento. O baixo teor de P no tecido vegetal é reflexo da baixa disponibilidade de P no solo (3,64 mg kg). Já para os teores de Ca, Mg e K, os valores se apresentaram dentro da faixa de suficiência (Ca = 0,25 a 0,50%; Mg = 0,15 a 0,50%; e K = 1,5 a 3,0%) CQFS RS/SC (2004).

Tabela 10 – Teores de Ca, Mg, P, K e N na parte aérea das plantas de cobertura.

Tratamentos	Teor dos elementos (%)				
	Ca	Mg	P	K	N
Pousio	1,003 b	0,625 b	0,0325 ab	3,06 bc	0,94 d
Aveia	0,423 c	0,383 d	0,0200 c	2,83 cd	1,51 c
Nabo	1,953 a	0,835 a	0,0250 bc	2,63 d	1,74 c
Ervilhaca	0,958 b	0,510 c	0,0400 a	3,91 a	2,86 a
Consórcio	1,000 b	0,555 bc	0,0325 ab	3,28 b	2,20 b
CV (%)	13,77	6,50	11,62	6,10	9,01

Fonte: Produção do próprio autor

Nota: Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Tabela 11 – Teores de Ca, Mg, P, K e N nas raízes das plantas de cobertura

Tratamentos	Teor dos elementos (%)				
	Ca	Mg	P	K	N
Pousio	0,063 ab	0,215 a	0,020 a	1,12 bc	1,53 b
Aveia	0,035 b	0,170 b	0,010 b	1,38 ab	0,78 d
Nabo	0,063 ab	0,215 a	0,013 b	1,50 a	1,27 bc
Ervilhaca	0,083 a	0,243 a	0,020 a	0,99 c	1,99 a
Consórcio	0,068 ab	0,238 a	0,010 b	1,62 a	1,07 cd
CV (%)	28,71	7,82	15,66	10,85	12,53

Fonte: Produção do próprio autor

Nota: Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

A ervilhaca apresentou maiores teores de nutrientes em seu tecido foliar, principalmente de N, P e K. Para as espécies leguminosas anuais, a faixa de suficiência é de 2,0 a 4,0%, para o N, de 0,15 a 0,40%, para o P, e para o K de 1,0 a 3,0% CQFS RS/SC (2004), indicando a ervilhaca como espécie importante na cobertura do solo quando se busca melhorar a fertilidade do solo.

Os teores de P no tratamento ervilhaca apresentaram a mesma tendência em relação a aveia com teores abaixo do ideal para seu desenvolvimento. Os demais elementos se mostram na faixa suficiente para o desenvolvimento da leguminosa. O tratamento consórcio apresentou teores próximos aos da ervilhaca.

#### **6.4.2 Acúmulo de nutrientes no tecido vegetal (raízes e parte aérea)**

Entre as espécies de plantas de cobertura, a ervilhaca apresentou o maior acúmulo de nutrientes em seu tecido vegetal (raízes + parte aérea) com 309,4 kg ha<sup>-1</sup>, 4,1 kg ha<sup>-1</sup> e 382,4 kg ha<sup>-1</sup>, de N, P e K respectivamente (Tabela 12). O tratamento consórcio não diferiu estatisticamente da ervilhaca, tendo 243 kg ha<sup>-1</sup>, 3,4 kg ha<sup>-1</sup> e 364,6 kg ha<sup>-1</sup> de N, P e K respectivamente.

Resultado semelhante foi obtido por Giacomini et al. (2003), onde a ervilhaca se mostrou eficiente no acúmulo de N e P, em cultura isolada e em consórcio. Os acúmulos de N, P e K no presente trabalho foram superiores aos apresentados por aqueles autores, o que pode ser explicado pelo fato dos tratamentos com plantas de cobertura terem recebido adubação de N, P, e K, com exceção dos tratamentos com ervilhaca onde não foi aplicado N.

Em relação ao cultivo de nabo forrageiro, Heinz et al. (2011) encontraram acúmulos de P e N superiores e de Ca e Mg inferiores aos encontrados na parte aérea desta espécie na

presente pesquisa. Já Crusciol et al. (2005) observaram valores semelhantes de acúmulo desses nutrientes nos resíduos de nabo forrageiro.

Calegari et al. (1992), trabalhando em solo rico em matéria orgânica, encontraram acúmulo de N pelo nabo de 112 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto Basso (1999), em solo arenoso e com baixa fertilidade, verificou que, na média de dois anos, o nabo forrageiro acumulou 59 kg ha<sup>-1</sup>. No presente trabalho, o nabo forrageiro apresentou 98,2 kg ha<sup>-1</sup> de N, apenas 32% do N acumulado pela ervilhaca e 40% do N acumulado pelo consórcio (Tabela 12). Em trabalho de Giacomini et al., (2003), o nabo forrageiro apresentou grande quantidade de N acumulado, não diferindo dos tratamentos nabo consorciado com aveia preta e do consórcio da aveia preta e ervilhaca.

O tratamento pousio apresentou os menores acúmulos de N e P, diferindo significativamente dos demais tratamentos, enquanto que para o K este tratamento não diferiu para o nabo forrageiro, com acúmulo de 72,2 kg ha<sup>-1</sup> e 140,6 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, sendo estes valores inferiores aos demais tratamentos (Tabela 12).

Tabela 12 - Quantidades totais de Ca, Mg, P, K e N na parte aérea e raízes das plantas de cobertura.

Trat.	Ca	Mg	P	K	N
Pousio	19,7 b	14,6 c	0,85 d	72,2 b	49,3 c
Aveia	42,9 b	45,4 ab	2,4 bc	343,7 a	127,4 b
Nabo	85,7 a	39,6 b	1,3 cd	140,6 b	98,2 bc
Ervilhaca	90,8 a	52,6 ab	4,1 a	382,4 a	309,4 a
Consórcio	98,4 a	61,0 a	3,4 ab	364,6 a	243,9 a
CV (%)	25,65	17,34	21,96	19,17	20,05

Fonte: Produção do próprio autor

Nota: Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

O tratamento pousio teve o menor acúmulo de N, P e K, diferindo significativamente de todos os demais, com exceção

do K, o qual foi semelhante ao nabo forrageiro (Tabela 12). É importante destacar que o acúmulo de nutrientes em áreas de pousio depende em muito do tipo de planta espontânea que se desenvolve na área. Outro aspecto relevante que difere dos demais tratamentos é o fato de que o pousio não recebeu fertilização química, como é comum ocorrer em nível de propriedade agrícola, onde a vegetação espontânea se desenvolve sobre a fertilidade natural da área ou do excedente de nutrientes após os cultivos comerciais. Também foi possível observar que, no geral, as plantas de cobertura do solo possuem baixa capacidade em acumular P.

Tabela 13 – Teores dos elementos acumulados de Ca, Mg, P, K e N na parte aérea do tecido vegetal em kg ha<sup>-1</sup>

Tratamentos	Acúmulo na parte aérea (kg ha <sup>-1</sup> )				
	Ca	Mg	P	K	N
Pousio	18,8 b	11,7 c	0,63 d	57,4 b	28,2 b
Aveia	41,4 b	37,6 b	1,95 bc	280,4 a	91,6 b
Nabo	84,5 a	35,6 b	1,05 cd	112,8 b	74,6 b
Ervilhaca	88,8 a	46,7 ab	3,68 a	358,4 a	261,6 a
Consórcio	96,3 a	53,7 a	3,05 ab	315,3 a	211,2 a
CV (%)	26,17	19,12	26,48	22,23	24,47

Fonte: Produção do próprio autor

Nota: Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Comparando o acúmulo de nutrientes entre a parte aérea e raízes, observa-se que a parte aérea acumulou a maior quantidade de nutrientes em todos os tratamentos. Isso se deve pela grande quantidade de massa seca produzida pela parte aérea em relação as raízes e pela maior concentração dos elementos na parte aérea das plantas (Tabelas 13 e 14).

Tabela 14 – Teores dos elementos acumulados de Ca, Mg, P, K e N na raízes do tecido vegetal em kg ha<sup>-1</sup>

Trat.	..... Acúmulo na raiz (kg/ha) .....				
	Ca	Mg	P	K	N
Pousio	0,85 ns	2,90 c	0,22 ns	14,7 b	21,1 b
Aveia	1,49 ns	7,79 a	0,40 ns	63,3 a	35,8 ab
Nabo	1,16 ns	3,98 bc	0,25 ns	27,8 b	23,6 b
Ervilhaca	2,08 ns	5,90 ab	0,42 ns	24,1 b	47,8 a
Consórcio	2,09 ns	7,29 a	0,36 ns	49,3 a	32,7 ab
CV (%)	37,34	21,26	29,62	23,08	25,63

Fonte: Produção do próprio autor

Nota: Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. ns: efeito entre tratamentos não significativo por meio de análise de variância a 5%.

## 6.5 PRODUTIVIDADE DE MILHO E SOJA EM SUCESSÃO AS PLANTAS DE COBERTURA

### 6.5.1 Produtividade de milho

A produtividade de grãos de milho em sucessão as plantas de cobertura foi maior nos tratamentos consórcio e ervilhaca, com 5,85 e 5,46 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, o que corresponde 67% e 62% do produzido pelas parcelas com adubação química, 8,75 Mg ha<sup>-1</sup>. Os demais tratamentos apresentaram produtividade inferior com 2,73, 2,95 e 3,01 Mg ha<sup>-1</sup>, para o nabo forrageiro, aveia preta e pousio, respectivamente, como pode ser visto na Tabela 15.

A alta produtividade de grãos de milho no tratamento adicional com adubação química, mostra a eficiência na produção de milho para as condições edafoclimáticas locais, corroborando com resultados apresentados por Sangoi et al. (2006), os quais obtiveram produtividade média de 8,5 Mg ha<sup>-1</sup> em manejo de alta fertilidade, e de 10,9 Mg ha<sup>-1</sup> com fertilidade muito alta, testando diferentes híbridos em Lages, SC. Ao comparar a produtividade de milho nos tratamentos consórcio e

ervilhaca, estes foram superiores aos valores obtidos pelos mesmos autores em nível de manejo com baixa e média fertilidade, respectivamente 3,2 e 4,5 Mg ha<sup>-1</sup>.

Tabela 15 – Matéria seca de parte aérea (palha + grãos), produtividade de grãos e peso de mil grãos de milho nas diferentes condições experimentais.

Tratamento	Matéria seca (Mg ha <sup>-1</sup> )	Prod. grãos (Mg ha <sup>-1</sup> )	Peso mil grãos (g)
Adubação mineral	19,296 a	8,752 a	299,1 a
Pousio	11,527 ab	3,009 cd	234,5 b
Aveia	9,060 b	2,946 d	244,4 b
Nabo	8,937 b	2,734 d	244,9 b
Ervilhaca	15,054 ab	5,461 bc	267,0 ab
Consórcio	13,101 ab	5,874 b	266,4 ab
CV (%)	30,63	23,05	5,62

Fonte: Produção do próprio autor

Nota: Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste Tukey a 5%.

A ervilhaca (tratamentos consórcio e ervilhaca) se mostrou positiva na produtividade de milho, bem como na produção de MS das plantas de cobertura (Tabelas 15 e 9). Em estudo realizado por Silva et al. (2007) o rendimento de grãos de milho foi de 7,3; 8,3; 4,0; e 7,2 Mg ha<sup>-1</sup> em sucessão à ervilhaca, nabo forrageiro, aveia e pousio, respectivamente, valores estes superiores aos encontrados no presente trabalho.

A produção total de massa seca de parte aérea (palha + grãos) foi maior no tratamento com adubação química, porém não diferiu estatisticamente do consórcio, ervilhaca e pousio. O nabo forrageiro e aveia preta tiveram os menores rendimentos, com 8,94 e 9,06 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabela 15). A menor produção de massa seca total e rendimento de grãos de milho em sucessão à aveia preta pode ser atribuída à alta relação C/N de seus resíduos, que imobiliza boa parte do N do solo pela ação dos microrganismos que atuam na sua

decomposição. Isto reduz a disponibilidade de N no solo e, conseqüentemente, para o milho principalmente (VARGAS et al., 2005), ao mesmo tempo em que apresenta baixa taxa de decomposição, cobre o solo mais prolongadamente (PERIN et al., 2004). Assim os restos culturais representam importante reserva de nutrientes na superfície do solo, pois podem promover disponibilização lenta e gradual, conforme a interação entre fatores climáticos, principalmente precipitação pluvial e temperatura, atividade biológica do solo e características inerentes ao resíduo vegetal (OLIVEIRA et al., 2002). No entanto, quando o N é liberado muito lentamente, a produtividade da cultura em sucessão torna-se prejudicada (SANTOS et al. 2010).

O peso de mil grãos do milho apresentou comportamento parecido com a produção de matéria seca, com valores de 234,5 gramas no pousio sem adubação até 299,1 para pousio com adubação. O tratamento com adubação química apresentou o maior peso de mil grãos, diferindo dos tratamentos de pousio sem adubação, aveia preta e nabo forrageiro. Os demais tratamentos apresentaram valores intermediários para esta variável (Tabela 15)..

A alta produção de biomassa vegetal das leguminosas e as maiores produtividades de milho em sucessão a esta família botânica é explicada pela associação simbiótica com bactérias fixadoras de N e sua baixa relação C/N, aliada à presença de compostos solúveis. Estes favorecem a rápida decomposição e mineralização dos nutrientes contidos na massa vegetal, com expressivo aporte de N ao sistema solo-planta (AITA et al., 2001).

### **6.5.2 Produtividade de soja**

Os tratamentos com diferentes plantas de cobertura do solo não influenciaram de forma significativa a produtividade de soja, a qual variou entre 4,0 e 4,7 Mg ha<sup>-1</sup> (Tabela 16).

Debiasi et al. (2010), encontraram produtividade média de soja de 3,0 Mg ha<sup>-1</sup>, não sendo influenciada por diferentes plantas de cobertura testada antecedendo o cultivo.

O peso de mil grãos da soja (Tabela 16) variou entre 164,9 e 169,9 gramas, corroborando com dados obtidos por Santos, Fontaneli e Tomm (2004), não diferindo estatisticamente entre os tratamentos com plantas de cobertura, seguindo o mesmo comportamento para a produtividade de grãos. Debiasi et al. (2010), da mesma forma não observaram diferença estatística do cultivo de soja em sucessão as plantas de cobertura. No entanto, o peso de mil grãos se mostrou superior ao encontrado no presente trabalho, sendo superior a 200 gramas. No presente trabalho a população de soja foi de 280 mil plantas ha<sup>-1</sup> enquanto em Debiasi et al. (2010) foi de 220 mil plantas ha<sup>-1</sup>. Isto pode explicar a diferença no peso de mil grãos, já que maior população de plantas resulta numa maior competição por nutrientes e conseqüentemente pode diminuir o tamanho e o peso dos grãos. Já Santos et al. (2013) apresentaram resultados mais próximos aos encontrados neste trabalho com peso de mil grãos de soja de 161 gramas em sucessão a plantas de cobertura, na média de quatro anos.

Tabela 16 – Produtividade de grãos e o peso de mil grãos de soja nas diferentes condições experimentais

Tratamento	Produtividade grãos (Mg/ha)	Peso mil grãos (g)
Pousio com adubo	4,65 <sup>ns</sup>	166,5 <sup>ns</sup>
Pousio	4,69 <sup>ns</sup>	169,9 <sup>ns</sup>
Aveia	4,00 <sup>ns</sup>	169,8 <sup>ns</sup>
Nabo	4,03 <sup>ns</sup>	173,3 <sup>ns</sup>
Ervilhaca	4,13 <sup>ns</sup>	164,9 <sup>ns</sup>
Consórcio	4,34 <sup>ns</sup>	169,0 <sup>ns</sup>
CV (%)	12,60	2,62

Fonte: Produção do próprio autor

<sup>ns</sup> Efeito não significativo por análise de variância a 5%.



Parte dos resultados pode ser explicada pelo fato de que a fixação biológica do N contribui entre 70% a 94% do N necessário ao desenvolvimento e ao rendimento da cultura de soja conforme Hungria et al., (2005).

### 6.5.3 Correlação entre atributos de rendimento de soja e milho e acúmulo de nutrientes por plantas de cobertura

Ao correlacionar os nutrientes acumulados pelas plantas de cobertura e a produtividade do milho em sucessão, observa-se correlação positiva entre a sua produtividade e os nutrientes N, P, K, Ca e Mg, com  $r = 0,76$ ;  $0,61$ ;  $0,75$ ;  $0,55$  e  $0,56$  respectivamente, ou seja, quanto maior o acúmulo destes nutrientes pelas plantas de cobertura, maior foi a produtividade do milho. Em relação ao peso de mil grãos de milho obteve-se o mesmo comportamento, com correlação positiva.

Por outro lado a cultura da soja não apresentou correlação significativa entre sua produtividade e aos teores de nutrientes. No entanto, para o peso de mil grãos, observa-se correlação negativa com os nutrientes N, K e P (Tabela 17).

Tabela 17 – Correlações entre os teores de nutrientes acumulados nas plantas de cobertura e produtividade de milho e soja

	Milho	Mil grãos	Soja	Mil grãos
N	0,76**	0,79**	ns	- 0,55*
K	0,61**	0,71**	ns	- 0,47*
P	0,75**	0,81**	ns	- 0,58**
Mg	0,56**	0,72**	ns	ns
Ca	0,55*	0,73**	ns	ns

Fonte: Produção do próprio autor

Nota: \* 5% de significância; \*\* 1% de significância; ns não significativo; N, nitrogênio; K, potássio; P, fósforo; Mg, magnésio; Ca, cálcio; C. O., carbono orgânico; Mil grãos, peso de mil grãos;

## 7 CONCLUSÕES

Os atributos físicos e químicos do solo foram pouco influenciados pelas espécies de plantas de cobertura do solo, sendo necessário período de avaliação maior que um ciclo de cultivo.

Os cultivos solteiros de aveia e ervilhaca e o consórcio de aveia, ervilhaca e nabo forrageiro apresentaram as maiores produções de massa seca da parte aérea, enquanto que a aveia apresentou maior produção de raízes.

A cobertura do solo pelo dossel das plantas foi maior nos cultivos de nabo forrageiro e consórcio de espécies no início do período de crescimento vegetal, enquanto que ao final foi maior nos cultivos de ervilhaca e consórcio de espécies.

Nos cultivos de ervilhaca e consórcio de espécies houve maior acúmulo de N, P, K, Ca e Mg no tecido vegetal, mas também de K e Mg no cultivo de aveia e de Ca no de nabo forrageiro; a parte aérea das plantas foi responsável pelo maior acúmulo em comparação as raízes.

Os atributos de rendimento da cultura de milho foram influenciados positivamente pela adubação química no seu cultivo; na ausência de adubação, a produtividade e o peso de mil grãos foi maior em sucessão ao cultivo de ervilhaca e ao consórcio de espécies.

A produtividade e o peso de mil grãos de soja não foram influenciadas pelas espécies destinadas a cobertura de solo.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR E SILVA, M. A. de, et al. Propriedades físico-hídricas, desenvolvimento radicular e produtividade da soja em dois tipos de manejos de solo. **Irriga, Botucatu**, 17:38-396, 2012.

AITA, C.; BASSO, C.J. et al. Plantas de cobertura de solo como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25:157-165, 2001.

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

AITA, C. & GIACOMINI, S.J. Plantas de cobertura de solo em sistemas agrícolas. In: ALVES, B.J.R. et al. eds. Manejo de sistemas agrícolas: impacto no sequestro de C e nas emissões de gases de efeito estufa. Porto Alegre, **Genesis**, p.59-79. 2006.

ALBUQUERQUE, J. A. et al. Relação de atributos do solo com a agregação de um Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de verão para cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29:415-424, 2005.

ALCÂNTARA, P.B. & BUFARAH, G. **Plantas forrageiras: gramíneas e leguminosas**. Ed. Nobel, 4º Ed. São Paulo, 162p, 1992.

ALMEIDA, J.A. et al. Propriedades químicas de um Cambissolo Húmico sob preparo convencional e semeadura direta após seis anos de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29:437-445, 2005.

ALVARES, C. A. et al. Koppens climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, 1:711 – 728, 2013.

AMADO, T.J.C. et al. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25:189-197, 2001.

AMADO, T.J.C. et al. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura de solo, sob sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26:241–248, 2002.

ANDRADE, A. P. et al. Physical properties of a Humic Cambisol under tillage and cropping systems after 12 years. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34:219-226, 2010.

ANDRADE, A. P. et al. Atributos químicos de um Cambissolo Húmico após 12 anos sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas. **Ciência Rural, Santa Maria**, 42:814-821, 2012.

BASSO, C.J. Épocas de aplicação de nitrogênio para o milho cultivado em sucessão a plantas de cobertura de solo, no sistema plantio direto. **Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria**, 1999.

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

BERTOL, I. et al. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agrícola**, 58:555-560, 2001.

BEZERRA , S. A.; CANTALICE, J. R. B. Erosão entre sulcos em diferentes condições de cobertura do solo, sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, 30, 2006.

BORKERT, C.M. et al. Nutrientes minerais na biomassa da parte aérea em culturas de cobertura de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 38:143-153, 2003.

CALEGARI, A. et al. Aspectos gerais da adubação verde. In: COSTA, M.B.C., ed. Adubação verde no sul do Brasil. Rio de Janeiro, **Assessoria e Serviços a Projetos em Agricultura Alternativa**, 1992.

CAMPOS, B.C. et al. Dinâmica da agregação induzida pelo uso de plantas de inverno para cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 23:383-391, 1999.

CARDOSO, E. G. et al. Distribuição do sistema radicular da cultura da soja em função do manejo do solo. In: **Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, 29, 2003, Ribeirão Preto. Anais... SBCS, 2003.

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

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina / **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. 10. ed.: Porto Alegre, 2004.

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

CRUSCIOL, C.A.C. et al. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 40:161-168, 2005.

CUBILLA, M. et al. Plantas de cobertura do solo em sistema plantio direto: uma alternativa para aliviar a compactação. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 14., 2002. **Anais...** Cuiabá, 2002.

DE MARIA, I. C. & LOMBARDI NETO, F. Razão de perdas de solo e fator C para sistemas de manejo da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 21:263-270, 1997.

DE MARIA, I.C. & CASTRO, O.M. Fósforo, potássio e matéria orgânica em um Latossolo Roxo sob sistemas de manejo com milho e soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 17:471-477, 1993.

DEBIASI, H. et al. Produtividade de soja e milho após coberturas de inverno e descompactação mecânica do solo. **Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília**, 45:603-612, 2010.

DERPSCH, R. & A. CALEGARI. Plantas para adubação verde de inverno. **Iapar**, Londrina. 80 p. (Circular 73). 1992.

DONEDA, A. et al. Fitomassa e decomposição de resíduos de plantas de cobertura puras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36:1714-1723, 2012.

DÖBEREINER, J. *Azotobacter paspali* sp.n., uma bactéria fixadora de nitrogênio na rizosfera de *Paspalum*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 1:357-365.1966.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual**

**de métodos de análise de solo.** 2.ed. Rio de Janeiro, p 212, 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 3 ed. Brasília: Embrapa, 353p. 2013.

FLOSS, E.L. Cobertura de inverno visando alto rendimento de culturas de verão. In: ENCONTRO REGIONAL DE PLANTIO DIRETO, 2., 2000, Ijuí. **Resumos...** 29-43p. 2000.

FOLONI, J.S.S. et al. Crescimento aéreo e radicular da soja e de plantas de cobertura em camadas compactadas de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30:49-57, 2006.

FONTANELI, R. S. et al. Rendimento e valor nutritivo de cereais de inverno de duplo propósito: forragem verde e silagem ou grãos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, 38:2116-2120, 2009.

FREDDI, O. S. et al. Produtividade do milho relacionada com a resistência mecânica à penetração do solo sob preparo convencional. **Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, 26:113-121, 2006.

GIACOMINI, S.J. et al. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, 27:325-334, 2003.

GOOGLE MAPS, 2014.

<https://www.google.com.br/maps/place/27%C2%B047'12.9%2S+50%C2%B018'25.1%22W/@-27.7869286,-50.306966,2981m/data=!3m2!1e3!4b1!4m2!3m1!1s0x0:0x0?hl=pt-PT> Acessado em 09/08/2014.

GUADAGNIN, J.C. Perdas de nutrientes e carbono orgânico pela erosão hídrica, em um Cambissolo Húmico Alumínico léptico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo. Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2003, 150p. (Dissertação de Mestrado).

HEINRICHS, R. et al. Cultivo consorciado de aveia e ervilhaca: relação C/N da fitomassa e produtividade do milho em sucessão. . **Revista Brasileira de Ciência Solo**, 25:331-340, 2001.

HEINZ, R. et al. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de crame e nabo forrageiro. **Ciência Rural**, 41:1549-1555, 2011.

JIMENEZ, R.L. et al. Crescimento de plantas de cobertura sob diferentes níveis de compactação em um Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 12:116–121, 2008.

JORGE & SILVA; EMBRAPA  
INSTRUMENTAL.SOFTWARE SISCOB, 2009. Disponível em:  
<http://labimagem.cnpdia.embrapa.br/Ferramentas.aspx?ferramenta=3>

KEMPER, W. D. & CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A. et al. eds. **Methods of soil analysis**. Part 1, Madison, American Society of Agronomy, p. 499-510. 1965.

KUBOTA, A.; HOSHIBA, K.; BORDON, J.; Green-manure turnip for soybean based no-tillage farming systems in eastern paraguay. **Scientia Agrícola**, 62:150-158, 2005.



LÁZARO, R. L. et al. Produtividade de milho cultivado em sucessão à adubação verde. - **Pesq. Agropecuária Tropical**, 43:3-17, 2013.

LUCIANO, R.V. et al. Perdas de água e solo por erosão hídrica em duas direções de semeadura de aveia e ervilhaca. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33:669-676, 2009.

NICOLOSO, R. da S. et al. 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 Solo**, 32:1723-1734, 2008.

OLIVEIRA, E.L. & PAVAN, M.A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. *Soil Till. Res.*, 38:47-  
OLIVEIRA, T. K.; CARVALHO, G. J.; MORAES, R. N. S. Plantas de cobertura e seus efeitos sobre o feijoeiro em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 37:1079-1087, 2002.

PÖTTKER, D.; ROMAN, E. S.; Efeito de resíduos de culturas e do pousio de inverno sobre a resposta do milho a nitrogênio. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, 29:763-770,1994.

REINERT, D.J. Recuperação da agregação pelo uso de leguminosas e gramínea em solo Podzólico Vermelho-Amarelo. **Universidade Federal de Santa Maria**, 1993. 62p.

RIZZARDI, M.A., SILVA, L.F. e VARGAS, L. Controle de plantas daninhas em milho em função de quantidades de palha de nabo forrageiro. **Planta Daninha**, 24:263-270, 2006.

ROS, A. O; AITA, C. Efeito 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.

ROSOLEM, C. A. et al. Crescimento radicular de plântulas de milho afetado pela resistência do solo à penetração. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 34:821-828, 1999.

SANGOI, L. et al. Rendimento de grãos e margem bruta de cultivares de milho com variabilidade genética contrastante em diferentes sistemas de manejo. **Ciência Rural**, 36:747-755, 2006.

SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S. E TOMM, G. O.; rendimento da soja em sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno e de verão, sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, 10:47-57, 2004.

SANTOS, H. P. et al. Rendimento de grãos de soja em diferentes sistemas de produção integração lavoura-pecuária. **Revista Brasileira Ciências Agrárias**. 8:49-56, 2013.

SANTOS, H.P.; TOMM, G.O. Disponibilidade de nutrientes e teor de matéria orgânica em função dos sistemas de cultivo e manejo do solo. **Ciência Rural**, 33:477-486, 2003.

SANTOS, P. A. et al. Adubos verdes e adubação nitrogenada em cobertura no cultivo do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, 9:123-134, 2010.

SANTOS, P. dos, et al. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 39:35- 40, 2004.

SAS Institute Inc<sup>®</sup> 2003 SAS Ver. 9.1 . 3 SAS Institute Inc.: Cary, NC, USA. Lic. UDESC.

SILVA, A. A. et al. Produtividade do milho irrigado em sucessão a espécies invernais para produção de palha e grãos. **Pesquisa agropecuária brasileira**, 43:987-993, 2008.

SILVA, A. A. et al. Sistemas de coberturas de solo no inverno e seus efeitos sobre o rendimento de grãos do milho em sucessão. **Ciência Rural**, 37: 928-935, 2007.

SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; IMHOFF, S. Intervalo hídrico ótimo. In: MORAES, M. H. et al. Culturas antecessoras e adubação nitrogenada na cultura do milho, em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, 5:75-88, 2006.

SILVA, D., A. et al. Aporte de fitomassa pelas sucessões de culturas e sua influência em atributos físicos do solo no sistema plantio direto. **Bragantia**, 70:147-156, 2011.

SILVA, P. R. F. et al. Estratégias de manejo de coberturas de solo no inverno para cultivo do milho em sucessão no sistema semeadura direta. **Ciência Rural**, v.36, 2006.

SILVA, R. H.; E ROSELEM, C. A.; Crescimento radicular de soja em razão da sucessão de cultivos e da compactação do solo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, 37:855-860, 2002.

TEDESCO, M.J. et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 174p. 1995.

TEIXEIRA, C.F.A.; PAULETTO, E.A.; SILVA, J.B. Resistência mecânica à penetração de um Argissolo Amarelo distrofico típico sob diferentes sistemas de produção em plantio direto. **Ciência Rural**, 33:1165-1167, 2003.

VARGAS, L. K.; SELBACH, P. A.; SÁ, E. L. S. de.;  
Imobilização de nitrogênio em solo cultivado com milho em  
sucessão à aveia preta nos sistemas plantio direto e  
convencional. **Ciência Rural**, v.35, 2005.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de  
carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de  
manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**,  
35:213-223, 2011.

XU, X.; NIEBER, J.L.; GUPTA, S.C. Compaction effect on  
the gas diffusion coefficient in soils. **Soil Science Society  
American Journal**, 56:1743-1750, 1992.

## ANEXOS

### Anexo 1 - Dados meteorológicos do período de avaliação, entre Junho de 2013 a Maio de 2014.

Mês/ano	Precipitação Total (mm)	Temperatura máxima média (°C)	Temperatura mínima média (°C)	Umidade relativa média do ar (%)
06/2013	199,3	17,3	7,8	89,7
07/2013	77,0	16,9	5,2	85,2
08/2013	318,2	17,6	6,0	83,8
09/2013	221,3	19,4	9,0	82,6
10/2013	136,9	20,7	10,5	82,2
11/2013	146,1	23,3	12,4	80,5
12/2013	107,7	26,9	14,6	78,8
01/2014	183,0	27,9	16,3	80,4
02/2014	210,7	28,3	15,3	78,3
03/2014	121,3	24,2	14,1	85,7
04/2014	094,2	21,6	12,3	86,5
05/2014	234,0	18,8	8,8	88,3
Acumulado	2049,7	21,9	11,0	83,5

Fonte: INMET, (2014).