

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA - UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS - CAV
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
MESTRADO EM MANEJO DO SOLO**

ESTEFÂNIA SILVA CAMARGO

**MANEJO CONSERVACIONISTA DO SOLO E ROTAÇÃO DE
CULTURAS PARA CEBOLA**

LAGES – SC

2011

ESTEFÂNIA SILVA CAMARGO

**MANEJO CONSERVACIONISTA DO SOLO E ROTAÇÃO DE
CULTURAS PARA CEBOLA**

Dissertação apresentada como requisito parcial
para obtenção do título de mestre no Curso de
Pós-Graduação em Manejo do Solo da
Universidade do Estado de Santa Catarina –
UDESC.

Orientador: Prof. Dr. Álvaro Luiz Mafra

LAGES – SC

2011

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

Camargo, Estefânia Silva
Manejo conservacionista do solo e rotação de culturas para
Cebola / Estefânia Silva Camargo – Lages, 2011.
80 p.

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

1. Plantio direto. 2. Atributos do solo. 3. Produção hortícola.
4. Conservação do solo. I.Título.

CDD – 635.25

ESTEFÂNIA SILVA CAMARGO

MANEJO CONSERVACIONISTA DO SOLO E ROTAÇÃO DE CULTURAS PARA CEBOLA

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de mestre no Curso de Pós-Graduação em Manejo do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.

Aprovada em: _____/_____/_____

Homologada em: _____/_____/_____

Banca Examinadora:

Orientador/presidente: Dr. Álvaro Luiz Mafra (UDESC/Lages - SC)

Co-orientador/membro: Dr. Jackson Adriano Albuquerque (UDESC/Lages – SC)

Membro: Dr. Idelgardis Bertol (UDESC/Lages - SC)

Membro: Dr. Jeferson Dieckow (UFPR/Curitiba – PR)

Dr. Luciano Colpo Gatiboni
Coordenador Técnico do Curso de Mestrado
em Ciência do Solo e Coordenador do
Programa de Pós-Graduação em Ciências
Agrárias – UDESC/Lages – SC

Dr. Cleimon Eduardo do Amaral Dias
Diretor Geral do Centro de Ciências
Agroveterinárias – UDESC/Lages - SC

Lages, Santa Catarina, 18 de fevereiro de 2011

A minha família, fundamental para que esta etapa fosse concluída. Em especial a minha mãe Claudia, que venceu e permitiu que chegássemos até aqui. Dedico.

AGRADECIMENTOS

À Universidade do Estado de Santa Catarina (CAV) e ao Programa de Pós – Graduação em Ciências Agrárias – Manejo do Solo, pela oportunidade de realização do curso de Pós-Graduação.

Ao Professor Dr. Álvaro Luiz Mafra, pela confiança, apoio e orientação desde o início deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos.

À Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI) - Estação Experimental de Ituporanga, pela concessão da infra-estrutura para o desenvolvimento da pesquisa.

Aos pesquisadores da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), Eng. Agrº M. Sc. Claudinei Kurtz e Eng. Agrº M. Sc. Jamil Abdalla Fayad, pela participação e contribuições na realização deste trabalho.

Aos funcionários da Estação Experimental de Ituporanga – EPAGRI, pela contribuição na pesquisa.

Aos bolsistas de iniciação científica Morgana Freitas e Daniel Peron Navarro Lins.

Ao apoio recebido por quem dividiu comigo qualquer situação nesse período, mesmo a distância. Agradeço à minha família - Claudia, Laércio e Samila, pela compreensão e apoio praticamente diários.

Aos professores, amigos e colegas do Programa de Pós – Graduação em Ciências Agrárias – Manejo do Solo, pelo conhecimento, amizade e convivência.

A todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

“Você nunca sabe que resultados virão de sua ação. Mas se você não fizer nada, não existirão resultados.” (Mahatma Gandhi)

RESUMO GERAL

CAMARGO, Estefânia Silva. **Manejo conservacionista do solo e rotação de culturas para cebola**. 2011. 80 f. Dissertação (Mestrado em Manejo do solo). Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC. Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Lages.

A exploração agrícola intensiva tem desencadeado uma série de consequências negativas no que se refere à qualidade física, química e biológica dos solos. Os sistemas de manejo conservacionistas baseados na cobertura permanente e rotação de culturas podem reverter este quadro. Na produção hortícola esta situação se confirma, especialmente quando se considera as condições dos sistemas produtivos de cebola no Alto Vale do Itajaí, principal região produtora da cultura em Santa Catarina. O objetivo deste trabalho foi avaliar sistemas de rotação de culturas para cebola, visando adequar formas de manejo conservacionista, verificando efeitos sobre os aspectos físicos e químicos do solo, por meio de combinações eficientes de cobertura do solo para o sistema de plantio direto. O experimento foi conduzido na Estação Experimental da Epagri em Ituporanga, SC, em Cambissolo Húmico Distrófico, após três anos da implantação do sistema de plantio direto e rotação de culturas para a cebola. A implantação do experimento deu-se em abril de 2007, sendo feita a cobertura da área com aveia/ervilhaca/nabo. A seguir foram implantados oito tratamentos de rotação de culturas para a cebola, visando a cobertura do solo no sistema de plantio direto: T1 - milho e cebola (sucessão); T2 - milho, aveia/nabo/centeio, cebola, girassol, aveia/nabo/ervilhaca, feijão, centeio/nabo, cebola; T3 - milho, aveia/nabo, cebola, milho safrinha e ervilhaca, milho, centeio, cebola; T4 - milho, aveia/nabo/centeio, cebola, mucuna e centeio, milho, nabo, cebola; T5 - cebola, milheto, nabo, cebola, milheto e aveia/nabo/ervilhaca, milho, cevada, cebola; T6 - cebola, feijão de porco, centeio, cebola, mucuna, centeio, cebola, mucuna, centeio e cebola; T7 - cebola, milheto/feijão de porco, aveia, cebola, crotalaria e centeio, milho, aveia, cebola; e T8 - cebola, girassol, aveia/centeio, cebola, girassol/mucuna/milheto e ervilhaca, milho, centeio/nabo/aveia, cebola. A produção de massa seca das culturas de cobertura e a produtividade de bulbos de cebola foram avaliadas nas safras de 2008, 2009 e 2010. O sistema de plantio direto, pela redução do revolvimento e uso de plantas de cobertura tem propriedades químicas e físicas do solo favoráveis ao desenvolvimento das plantas. Os maiores teores de nutrientes, agregação, condutividade hidráulica saturada e grau de floculação são encontrados no plantio direto em relação ao preparo convencional. O sistema conservacionista de manejo para cebola é uma estratégia importante para ciclagem, manutenção do aporte de nutrientes e conservação do solo.

Palavras-chave: Plantio direto. Atributos do solo. Produção hortícola. Conservação do solo.

ABSTRACT

CAMARGO, Estefânia Silva. **Conservation management of soil and crop rotation for onion.** 2011. 80p. Dissertation (Master in Soil Management). Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC. Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Lages.

Intensive soil use has negative consequences on its physical, chemical and biological properties. The conservation management system based on permanent soil cover and crop rotation may favor the reversal of this process. In horticultural production this situation is confirmed, especially when considering the conditions of the production systems of onions in Itajai valley, the main producing region of this crop in Santa Catarina. The aim of this study was to evaluate crop rotation systems for onion, to adapt forms of conservation management, and evaluate its effects on soil physical and chemical properties, through efficient combinations of soil cover for no-tillage system. The experiment was conducted at the Experimental Station of Epagri, in Ituporanga, SC, Southern Brazil, on a Humic Dystrophic, after three years of using management systems and crop rotation for onion. The experiment was established in April 2007, using a cover crop of oats / vetch / turnip. The following treatments consisting of crop rotation for onion in order to cover the soil under no-tillage system: T1 - maize and onion (succession), T2 - maize, oat / fodder radish / rye, onion, sunflower, oat / fodder radish / vetch, beans, rye / fodder radish, onion, T3 - maize, oat / fodder radish, onion, winter maize and vetch, maize, rye, onion, T4 - maize, oat / fodder radish / rye, onion, velvet and rye, maize, fodder radish, onion, T5 - onion, millet, fodder radish, onions, millet and oat / fodder radish / vetch, maize, barley, onion, T6 - onion, jack bean, rye, onion, velvet and rye, onion, T7 - onion , millet / jack bean, oat, onion, crotalaria and rye, maize, oat, onion and T8 - onion, sunflower, oat / rye, onion, sunflower / velvet / vetch and millet, maize, rye / fodder radish / oat, onion. The dry matter production of cover crop and yield of onion bulbs were evaluated for crop years 2008, 2009 and 2010. The minimum tillage system showed suitable soil chemical and physical properties to plant growth. The highest levels of nutrients, aggregation degree, total porosity and saturated hydraulic conductivity were found in no-tillage compared to conventional tillage. The conservation soil management for onion crop is an important strategy for cycling, maintenance of nutrient accumulation and conservation of soil and water.

Keywords: No tillage. Soil attributes. Horticultural production. Soil conservation.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Tratamentos implantados na rotação de culturas para cultivo de cebola sob manejo conservacionista do solo, de 2007 a 2010, Ituporanga, SC.....	30
Tabela 2 -	Média ponderada da distribuição do tamanho de partículas para a camada de 0 a 20 cm nas três áreas avaliadas, de plantio direto e rotação de culturas para cebola, de preparo convencional e de mata nativa, em Ituporanga, SC.....	32
Tabela 3 -	Carbono orgânico, nitrogênio total, fósforo, potássio, cálcio e magnésio em um Cambissolo Húmico Distrófico em função dos diferentes sistemas de manejo e rotação de culturas para cebola, comparativamente ao preparo convencional e solo sob mata nativa, em Ituporanga, SC.....	34
Tabela 4 -	Indicadores da acidez do solo em um Cambissolo Húmico Distrófico em função dos diferentes sistemas de manejo e rotação de culturas para cebola, comparativamente ao preparo convencional e solo sob mata nativa, em Ituporanga, SC.....	38
Tabela 5 -	Produção de massa seca (kg ha^{-1}) da parte aérea de plantas de cobertura de inverno e verão, para cultivo de cebola em manejo conservacionista do solo sob diferentes tratamentos envolvendo rotação de culturas nos anos de 2008, 2009 e 2010, em Ituporanga, SC.....	40
Tabela 6 -	Diâmetro médio ponderado dos agregados, macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo em um Cambissolo Húmico Distrófico em função dos diferentes sistemas de manejo e rotação de culturas para cebola, comparativamente ao preparo convencional e solo sob mata nativa, em Ituporanga, SC.....	50
Tabela 7 -	Grau de floculação, condutividade hidráulica saturada e resistência a penetração do solo em um Cambissolo Húmico Distrófico em função dos diferentes sistemas de manejo e rotação de culturas para cebola, comparativamente ao preparo convencional e solo sob mata nativa, em Ituporanga, SC.....	54
Tabela 8 -	Umidade gravimétrica do solo em avaliação de resistência a penetração em Cambissolo Húmico Distrófico em função dos diferentes sistemas de manejo e rotação de culturas para cebola, em Ituporanga, SC.....	56
Tabela 9 -	Produtividade (kg ha^{-1}) de cebola sob manejo conservacionista do solo com diferentes tratamentos envolvendo rotação de culturas, na safra 2007, 2008 e 2009, em Ituporanga, SC.....	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	A - Vista do experimento - Estação Experimental da EPAGRI em Ituporanga - fase de desenvolvimento de plantas de cobertura.	
	B - Área experimental em fase de cultivo de cebola sob sistema de plantio direto com rotação de culturas.	30

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL.....	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
2.1	UTILIZAÇÃO E DEGRADAÇÃO DOS SOLOS	16
2.2	SISTEMAS CONSERVACIONISTAS DE PRODUÇÃO DE HORTALIÇAS	17
2.3	ESPÉCIES DE COBERTURA DO SOLO	18
2.4	EFEITOS DA COBERTURA DO SOLO E DA ROTAÇÃO DE CULTURAS NO CULTIVO DE CEBOLA	20
3	CAPÍTULO I - PLANTIO DIRETO E ROTAÇÃO DE CULTURAS PARA CEBOLA E ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM CAMBISSOLO HÚMICO DISTRÓFICO	25
3.1	RESUMO	25
3.2	ABSTRACT	26
3.3	INTRODUÇÃO	27
3.4	MATERIAL E MÉTODOS	29
3.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
3.6	CONCLUSÕES	41
4	CAPÍTULO II - PLANTIO DIRETO E ROTAÇÃO DE CULTURAS PARA CEBOLA E ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM CAMBISSOLO HÚMICO DISTRÓFICO	42
4.1	RESUMO	42
4.2	ABSTRACT	43
4.3	INTRODUÇÃO	44
4.4	MATERIAL E MÉTODOS	46
4.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
4.6	CONCLUSÕES	58
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
	APÊNDICES	70

1 INTRODUÇÃO GERAL

A região sul do Brasil vem sendo alvo de estudos sobre processos de conservação dos recursos naturais. Os questionamentos relacionados às modificações ambientais tem se acentuado, principalmente aqueles causados pela atividade humana, como a redução da biodiversidade, a degradação do solo e a contaminação da água. A necessidade de produção de alimentos para uma população que cresce aceleradamente está, cada vez mais, ameaçando a sustentabilidade dos agroecossistemas e forçando a descoberta de novas técnicas agrícolas, que reduzam o uso de agrotóxicos e adubos químicos solúveis, o monocultivo e a falta de práticas adequadas de combate à erosão.

O modelo agrícola dominante na região tem aumentado o uso de fertilizantes minerais, de agrotóxicos e da mecanização. Além disso, grande parte dos trabalhos não privilegia a manutenção de cobertura vegetal, importante aporte para reposição de matéria orgânica e adequação da temperatura e umidade do solo. Com o uso intensivo dos insumos agrícolas dominantes, a região vem apresentando problemas de degradação ambiental e, em determinadas situações, gradativa queda de produtividade. Os métodos inadequados de manejo do solo e o abandono do uso de adubos orgânicos, da adubação verde, da rotação de culturas e de práticas que valorizam a cobertura e aporte de material orgânico também contribuem para a desqualificação dos sistemas produtivos.

O uso inadequado do solo leva a sua degradação, o que tem acentuado as dificuldades na agricultura. A erosão, a perda da fertilidade natural e da capacidade de auto-recuperação são fatores que tornam este segmento ainda mais vulnerável. Com isto, a melhoria da saúde do solo, por meio de manejo adequado e introdução de espécies de cobertura em seqüências eficientes, para a melhoria nutricional e estrutural é necessária para desenvolver sistemas de produção estáveis. Um solo fértil, fisicamente estruturado, quimicamente equilibrado e biologicamente ativo é decisivo para qualquer cultivo a médio e longo prazo.

Em decorrência do impacto negativo dos sistemas de uso do solo, práticas conservacionistas têm sido propostas com o intuito de reduzir modificações no ambiente. Neste sentido, o sistema de plantio direto tem se destacado como alternativa de produção sustentável. Notoriamente, a adoção desse método é difundida para a produção de grãos. Entretanto, do ponto de vista científico, as hortaliças e, em especial, a cultura da cebola

(*Allium cepa* L.) têm o cultivo em sistemas de base conservacionista, ainda pouco pesquisado e avaliado, em termos de influências sobre os componentes e processos do solo.

O assunto tem especial interesse na região do Alto Vale do Itajaí, tradicional produtora de cebola, onde predominam solos rasos, em terrenos declivosos e, em muitos casos, com avançado estágio de degradação, especialmente no que se refere à perda do horizonte superficial por erosão, e alterações estruturais decorrentes do revolvimento excessivo (Apêndice A). Assim, torna-se importante avaliar a capacidade de plantas em recuperar os atributos do solo e garantir a produtividade da cebola. As condições edáficas atreladas às condições de manejo destas lavouras têm dificultado a conservação do solo e ainda reduzido a produtividade da cultura.

O desenvolvimento de sistemas de cultivo mínimo e plantio direto de hortaliças é um campo da ciência agronômica em crescente expansão, sendo caracterizado pela menor mobilização do solo, pela presença de resíduos culturais na sua superfície e pela maior diversificação dos cultivos. O processo visa melhorar a produtividade e a conservação dos recursos naturais, especialmente pela estabilização da estrutura do solo e pela ciclagem de nutrientes. Na situação estudada mostra-se como uma prática efetivamente necessária para a conservação e o desenvolvimento da produção hortícola da região.

A manutenção da cobertura permite a proteção do solo contra a erosão, mantém sua umidade, diminui a ocorrência de plantas espontâneas e favorece aspectos químicos, físicos e biológicos do solo, devido ao maior aporte de matéria orgânica. Neste sentido, o principal requisito para implantação do plantio direto em hortaliças é a adoção do sistema de rotação de culturas, garantindo o equilíbrio dos aspectos edáficos. Desta forma pode-se garantir a conservação dos recursos naturais favorecendo a adoção do plantio direto, especialmente com produção de palhada em quantidade suficiente na camada superficial do solo, permitindo a produção de outras espécies em épocas alternadas ao cultivo da hortaliça.

O emprego de plantas de cobertura e a rotação de culturas representam a base fundamental para estabelecimento do manejo conservacionista do solo, para o sistema produtivo da cebola. Para reverter o processo de desgaste do solo faz-se necessária a adoção de um modelo conservacionista de agricultura, com o uso de técnicas que priorizem a formação de uma “bioestrutura” adequada, mantendo-a e conservando-a.

O presente estudo objetivou avaliar os atributos físicos e químicos de um Cambissolo Húmico Distrófico, após três anos de implantação do sistema de plantio direto e rotação de culturas para a cebola; desenvolver o plantio direto de cebola, como forma de manejo conservacionista de solos sensíveis à degradação, em alternativa ao preparo adotado no

sistema convencional de manejo, testando espécies de cobertura do solo em sistemas de rotação, visando melhoria na qualidade do solo e o potencial de produção de biomassa para cada espécie testada. O mesmo procedimento de avaliação foi realizado em área com produção de cebola sob manejo convencional de preparo do solo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 UTILIZAÇÃO E DEGRADAÇÃO DOS SOLOS

O desenvolvimento de processos tecnológicos envolvendo a produção agropecuária ocorre com maior intensidade nos últimos 50 anos, destacando-se o melhoramento genético, a mecanização e o uso de fertilizantes (MATSON et al., 1997). Por outro lado, pouca atenção tem sido concedida à proteção dos ecossistemas. Assim, a ação humana sobre o ambiente é apontada como causa do desequilíbrio provocado nos fluxos de energia ocorrentes no planeta.

O manejo adotado em muitos agroecossistemas - um dos principais refere-se ao manejo do solo - vem recebendo críticas do ponto de vista ambiental, uma vez que o sistema convencional de produção geralmente se baseia no preparo com aração e gradagem. Assim são gerados impactos negativos, como a perda da camada superficial do solo, a redução dos teores de matéria orgânica, a compactação, entre outros (FONTANETTO e KELLER, 2001). Com isto, a degradação ambiental constitui forte ameaça a sustentabilidade da agricultura (MALAGODI et al., 2000).

Embora algumas operações de preparo do solo possam melhorar certas condições edáficas e favorecer o crescimento das culturas, a mobilização intensa dos solos agrícolas tem levado à sua degradação, especialmente por aumentar a erosão hídrica, estimular a atividade microbiana e ocasionar elevada liberação de CO₂ (BAYER e BERTOL, 1999; CERRI e CERRI, 2007). Além disso, a presença de camadas compactadas na subsuperfície do solo, nesses sistemas de manejo, reflete degradação estrutural (BERTOL et al., 2001), com aumento da densidade do solo e redução da estabilidade dos agregados, volume e tamanho dos macroporos, taxa final de infiltração de água e desenvolvimento radicular das plantas (DALLA ROSA, 1981; SILVA e MIELNICZUK, 1997). Na maioria destas situações, como no município de Ituporanga, por exemplo, por meio da erosão são provocadas perdas praticamente totais do horizonte superficial do solo.

O solo é um elemento fundamental de sustentação dos sistemas agrícolas e naturais. Reverter o quadro de degradação, otimizar o uso, aumentar a produção agrícola, contribuir para a mitigação de impactos negativos e desenvolver novos sistemas de produção capazes de promover a sustentabilidade ambiental, social e econômica são alguns dos desafios do manejo

e conservação do solo para os diversos ambientes, usos e estado de degradação das terras (ANDRADE et al., 2010).

2.2 SISTEMAS CONSERVACIONISTAS DE PRODUÇÃO DE HORTALIÇAS

Os primeiros esforços voltados à conservação do solo, especialmente no Brasil, se concentraram nas práticas mecânicas de terraceamento, construção de curvas de nível, plantio em nível ou em faixas e outros (SOBRAL FILHO et al., 1980). Durante algumas décadas, as práticas mecânicas adotadas no controle da erosão se mostraram insuficientes, especialmente na região sul do país (VIEIRA, 1994). Assim, na década de 1970 se percebeu a importância do manejo adequado do solo para cultivo, evitando expô-lo a chuvas intensas, focando, a partir de então, o planejamento conservacionista (ANDRADE et al., 2010).

A prática de produção em sistemas de manejo conservacionista do solo, bem como os aspectos edáficos relacionados à capacidade produtiva nessas condições são enfatizados em vários estudos, de forma mais abrangente para sistemas de produção de grãos, e de forma preliminar em alguns trabalhos no cultivo de hortaliças (FAYAD et al., 2007; AMBROSANO et al., 2008).

A adoção do sistema de plantio direto de hortaliças pode reduzir os custos de produção e melhorar as condições ambientais e, em determinadas circunstâncias, o efetivo aprimoramento do sistema de produção. De acordo com Fayad e Mondardo (2004), o desenvolvimento de sistemas de plantio direto de hortaliças é um campo em crescente expansão, caracterizado pela menor mobilização, presença de resíduos culturais na superfície do solo e pela maior diversificação dos cultivos. Esse sistema visa melhorar a produtividade e conservação dos recursos naturais, especialmente pela estabilização da estrutura do solo e diminuição sensível da erosão.

Para a cultura da cebola, o sistema de plantio direto se apresenta como importante técnica de produção, especialmente quando se consideram as condições de cultivo em Santa Catarina. O cultivo da hortaliça no estado concentra-se na mesorregião do Alto Vale do Rio Itajaí, que abrange 28 municípios, dentre estes, Ituporanga, considerada a capital nacional da cebola, responsável por 12% do abastecimento nacional. A produção de cebola é a principal atividade olerícola da região, com área cultivada na safra 2009 em torno de 15 mil hectares,

envolvendo aproximadamente seis mil famílias de agricultores, que têm nela sua principal ocupação econômica, chegando à produção de 300 mil toneladas do bulbo. Ao ano, a produção atinge cerca de 300 mil toneladas, o equivalente a 70% de toda a cebola produzida em Santa Catarina e a 25% da produção nacional (CAMPO NEWS, 2009).

Nesta região, predomina relevo acidentado e ocorrem solos rasos, como Cambissolos, associados à Argissolos, que apesar da maior profundidade, encontram-se intensamente degradados pelo histórico de uso, muitas vezes com perda parcial ou completa da camada superficial (EMBRAPA, 2004). A redução da capacidade produtiva desses solos está associada à erosão hídrica, principalmente em decorrência do sistema de cultivo convencional adotado, com revolvimento intensivo do solo e em função da deficiente adoção de práticas conservacionistas, como terraceamento e cobertura do solo (AMADO et al., 1992). A utilização desses solos no que se refere a produção, mostra incompatibilidade entre a aptidão agrícola da maioria das terras sob essas condições e seu uso efetivo, especialmente quando se considera a forma tradicional de manejo do solo adotada (BOEING, 2002). Nesse aspecto, nas situações de produção apresentadas, pela importância econômica e de conservação do solo, busca-se a recuperação e/ou manutenção do seu potencial produtivo, utilizando-se o cultivo de plantas para adubação verde e cobertura do solo.

2.3 ESPÉCIES DE COBERTURA DO SOLO

A contribuição de diferentes tipos de cobertura do solo em termos de aporte de nutrientes e seus efeitos sobre o desenvolvimento das culturas vem sendo pesquisada para diversas espécies vegetais (BORKERT et al., 2003). O planejamento do uso de plantas de cobertura trata-se de uma etapa de fundamental importância para sucesso na formação de massa vegetal, rotação de culturas e subsídio para o plantio direto. Algumas premissas básicas devem ser adotadas nesse momento, como as possibilidades de contribuição de cada espécie ou sua combinação, arranjadas num sistema de rotação de culturas, considerando aspectos climáticos, de solo e as condições sócio-econômicas dos agricultores.

Deve-se considerar também, o planejamento da época de semeadura, prevendo antecedência necessária para haver acúmulo suficiente de biomassa vegetal. Além disso, levar em conta adequada densidade de semeadura, para garantir boa cobertura do solo.

A escolha no uso das plantas de cobertura envolve época de semeadura, capacidade de produção de biomassa, o tipo e a fase de manejo das espécies, adaptabilidade a condições climáticas da região, bem como as possibilidades de uso. As estratégias para utilização podem incluir cultivo de inverno e verão, mantendo o solo sempre coberto e produzindo biomassa antes do plantio comercial, no caso, a cebola. Entre as plantas de cobertura de inverno, as mais empregadas em Santa Catarina e com maior capacidade de produção de biomassa são normalmente as gramíneas, como a aveia preta, o centeio e o azevém. Outras espécies como ervilha forrageira e nabo forrageiro também são bem produtivas, entretanto a primeira pode ser prejudicial à cultura da cebola se não manejada corretamente pelo seu hábito trepador de crescimento. Quando se considera a precocidade e rusticidade, importante para cobertura rápida do solo e proteção contra plantas espontâneas destacam-se aveia preta, centeio, ervilha forrageira, nabo forrageiro e tremoço (MONEGAT, 1991).

O cultivo de plantas de cobertura de verão possibilita grande aporte de biomassa, sendo crotalária juncea, mucuna anã, feijão de porco, milheto e crotalária retusa as principais espécies utilizadas pelos agricultores, destacadas pela precocidade e potencial de produção (WILDNER e DADALTO, 1991; PERIN et al., 2004).

Como alternativa para proteção do solo, outra prática que pode ser adotada é o consórcio de diferentes plantas de cobertura, que pode apresentar vantagens como, composição e relação C/N intermediárias, especialmente pela combinação de gramíneas e leguminosas, ocasionando equilíbrio em termos de proteção do solo pelos resíduos e fornecimento de nitrogênio à cultura. Outro aspecto favorável decorre do maior aproveitamento dos nutrientes e água, pela distribuição variada do sistema radicular (HEINRICHS et al., 2001).

A rotação de culturas pode ser implementada a partir da utilização de espécies vegetais alternadas num mesmo local. Trata-se de uma prática fundamental na produção de hortaliças, especialmente pela sensibilidade às doenças, supressão de plantas espontâneas e pela diversificação no uso das terras, o que confere ao agricultor maior estabilidade, além de distribuição mais equilibrada da necessidade de mão-de-obra na propriedade (DOGLIOTTI et al., 2004).

No caso particular da cultura da cebola, que tem baixa capacidade de cobrir o solo, é fundamental a utilização de espécies vegetais rotacionadas para sua cobertura, para que o plantio direto inicie em condições de alto apporte de resíduos na superfície do terreno e garanta assim cobertura vegetal permanente do solo.

O adequado manejo das espécies e desses fatores condicionantes resulta em melhorias no solo, que seriam refletidas em benefícios no rendimento das culturas comerciais, além de possibilitar diversificação da produção, otimizando os recursos disponíveis na propriedade.

2.4 EFEITOS DA COBERTURA DO SOLO E DA ROTAÇÃO DE CULTURAS NO CULTIVO DE CEBOLA

A adoção de plantas de cobertura e a rotação de culturas, pela ação da vegetação na melhoria do solo, se inserem no atual contexto conservacionista. Esta situação é particularmente importante nas áreas de produção de hortaliças, em virtude do uso intensivo das terras, especialmente em condições de relevo acidentado e revolvimento excessivo do solo, o que tem levado à acentuada degradação deste recurso natural, além de comprometer a qualidade das águas.

A rotação de culturas do ponto de vista de conservação do solo busca uma sequência temporal de espécies com diferentes tipos de sistema radicular e exigências nutricionais, além de garantir cobertura vegetal permanente do terreno, reduzir perdas de nutrientes e adicionar material orgânico. Essa prática também tem implicações em relação aos aspectos fitossanitários e ocorrência de plantas espontâneas.

A planta de cebola, especialmente por apresentar pouca área foliar, é pouco competitiva com as plantas espontâneas (WORDEL FILHO et al., 2006). Dessa forma, a adoção de plantas de cobertura e sistemas de rotação de culturas, além do aspecto de proteção do solo, possibilita benefícios agronômicos adicionais, em termos fitossanitários, pela supressão de plantas espontâneas e melhoria da fertilidade do solo, o que, em conjunto, favorece o crescimento e produtividade da cultura principal. A rotação de culturas é uma das melhores práticas para combater plantas espontâneas persistentes, importante no cultivo de hortaliças, uma vez que os solos utilizados são adubados e irrigados, o que favorece a ocorrência e crescimento das plantas espontâneas (FONTANETTI et al., 2004).

Segundo Calegari et al. (2008), a manutenção e/ou adição de matéria orgânica ao solo, pela rotação de culturas, incluindo o adequado emprego das coberturas vegetais, tende a melhorar o sistema produtivo ao longo dos anos. Essa seria a principal estratégia a ser

utilizada na conservação do solo, influenciando aspectos biológicos, físicos e químicos, além de viabilizar a implantação do plantio direto de hortaliças (TAGLIARI, 2003).

A presença da biomassa adiciona matéria orgânica e nutrientes ao solo, sendo um aspecto normalmente percebido pelos agricultores, especialmente em relação ao nitrogênio proveniente de leguminosas, caracterizando a adubação verde, com potencial de uso na produção de hortaliças (CASTRO et al., 2004). Também aumenta a agregação das partículas, a capacidade de armazenamento de água, a atividade biológica, a CTC do solo, a solubilização dos nutrientes, a complexação do alumínio e do manganês, e com isso contribui para o aumento da produtividade das culturas (CALEGARI e COSTA, 2010).

No sistema de plantio direto, os teores de matéria orgânica do solo podem ser preservados, pois há redução na taxa de decomposição, em função da menor fragmentação dos resíduos e do não revolvimento do solo (ROSCOE et al., 2006). Desta forma, os resíduos permanecem na superfície, com menor área de contato com o solo. A contribuição dos resíduos vegetais em relação aos atributos químicos do solo é variável e dependente de fatores como a espécie utilizada, tipo de manejo dado à biomassa, época de plantio e corte da planta, e tempo de permanência do material no solo (ALCÂNTARA et al., 2000).

As plantas de cobertura do solo podem também modificar o seu ambiente bioquímico, pela ação de ácidos orgânicos de baixo peso molecular, produzidos durante sua decomposição. Esses compostos mais simples e solúveis em água podem formar complexos orgânicos com cátions, o que neutraliza parte do alumínio (Al) tóxico (SALET, 1994), além de aumentar a mobilidade de bases como cálcio (Ca) e magnésio (Mg) no perfil do solo (FRANCHINI et al., 1999).

O aporte de nutrientes está relacionado com a composição da planta e a velocidade de decomposição, que é influenciada por fatores edáficos, ambientais e pela qualidade da biomassa, normalmente indicada pela relação C/N. Com isto, as plantas de cobertura podem influenciar a ciclagem do carbono orgânico, além do fornecimento de nutrientes, normalmente com maior destaque para o nitrogênio (N), importante no caso das hortaliças, que são adubadas de forma intensa (TREHAN et al., 2008), contribuindo na redução das perdas de nutrientes (JACKSON, 2000).

De acordo com Boddey et al. (1994), o nitrogênio é um dos nutrientes que mais limita o crescimento das plantas. Portanto, o uso de adubos verdes, capazes de realizar, eficientemente, a fixação biológica de nitrogênio pode contribuir consideravelmente para a viabilidade econômica e sustentabilidade dos sistemas produtivos. Por outro lado, o emprego de não-leguminosas na cobertura do solo pode amenizar perdas de nitrogênio mediante a

imobilização temporária deste nutriente em sua biomassa (ANDREOLA et al., 2000). Além disso, de acordo com Bortolini et al. (2000), resíduos de gramíneas, em virtude de sua baixa taxa de decomposição, determinam melhor proteção do solo, o que é aconselhável do ponto de vista conservacionista. Deste modo, a adubação verde, a partir do consórcio entre leguminosas e gramíneas, pode determinar a combinação de resíduos com características favoráveis, não só à proteção do solo, também à nutrição das plantas.

Ressalta-se que o fornecimento de nutrientes pela biomassa das plantas se dá normalmente de maneira mais gradual em comparação aos adubos solúveis, de origem industrial. Isto em geral resulta em melhoria no aproveitamento do nitrogênio proveniente dos resíduos, como também pela potencialização de outras modificações benéficas no solo (AITA et al., 2001).

Na cultura da cebola, há alguns estudos avaliando o suprimento de nutrientes, destacando-se que a disponibilidade de nutrientes tem estreita relação com o manejo do solo e com os sistemas de rotação de culturas adotados (PAULA et al., 2002; FAYAD et al., 2007), sendo igualmente influenciada por processos edáficos, suprimento de água, aspectos climáticos e da própria capacidade da cultura de aproveitar os elementos presentes no solo.

Outra interferência da biomassa, normalmente associada ao método de preparo do solo é a redução na ocorrência de plantas espontâneas (CAAMAL MALDONADO et al., 2001; FENNIMORE e JACKSON, 2003), cuja causa pode ser devida ao efeito de sombreamento, ou por ação alelopática, sendo um dos principais fatores benéficos dessa prática em termos de resposta das culturas em sucessão ou rotação (ERASMO et al., 2004). Esses efeitos, entretanto podem depender da época de desenvolvimento das culturas e das espécies de plantas de cobertura utilizadas (HERRERO et al., 2001). Portanto, a utilização de resíduos vegetais provenientes da cobertura do solo é uma alternativa prática de suprimir plantas espontâneas, pela ocupação, por maior período de tempo, com plantas cultivadas.

Em relação aos aspectos físicos do solo, a cobertura vegetal sobre o terreno é benéfica em termos de proteção contra o impacto da chuva e funciona como anteparo ao escoamento superficial, o que reduz a erosão hídrica. Especificamente, sistemas de culturas com alto aporte de palha, associado ao plantio direto, resultam em melhoria da estabilidade de agregados, maior resistência do solo à compactação, redução das temperaturas máximas e espaço poroso adequado para infiltrar e reter água, e para difusão de oxigênio às raízes das culturas (BAYER et al., 2009). De acordo com estes autores, apesar de ter maior densidade em função do não revolvimento periódico, o solo no plantio direto tem estrutura bastante

heterogênea e, quando manejado em condições de umidade adequada, não é identificada, normalmente, elevada restrição ao desenvolvimento radicular.

Os canais formados pelas raízes de cada cultura que se acumulam no solo em plantio direto constituem caminhos preferenciais ao desenvolvimento radicular, pela continuidade dos poros, diminuindo o efeito negativo do adensamento do solo às culturas (CINTRA et al., 1983; MELLO e MIELNICZUK, 1999).

A combinação entre estabilidade estrutural, adequada distribuição de macro e microporos normalmente advinda da presença de resíduos sobre o solo, resulta em maior disponibilidade de água às plantas (ALVES e SUZUKI, 2004). Vale salientar que os resíduos vegetais cobrindo o solo atuam na reflexão da energia solar, contribuindo para que a temperatura não atinja valores demasiadamente altos na superfície do solo (LAL, 1975; DERPSCH et al., 1985).

Segundo Salton e Mielniczuk (1995), em determinadas fases do ciclo da cultura a perda de água no solo por evaporação é determinada pela quantidade de resíduos vegetais na superfície do solo. Igualmente para Derpsch et al. (1991), a maior conservação ou retenção de água no solo, no plantio direto é eficiente graças aos resíduos que permanecem na superfície do solo, o que reduz a evaporação. Essa redução, que ocorre em parte pela queda da temperatura do solo, depende principalmente da quantidade e qualidade de cobertura na sua superfície.

A agregação e a estabilidade de agregados também são favorecidas em plantio direto, pois são dependentes da atividade biológica, a qual é responsável pelos fluxos do carbono no solo e da energia adicionada via resíduos vegetais (VEZZANI, 2001). A partir da decomposição dos resíduos vegetais ocorre a formação de substâncias agregantes geradas pelo metabolismo microbiano que atuam na estabilização dos agregados (SILVA e MIELNICZUK, 1997). Essas informações evidenciam o potencial do alto aporte de resíduos vegetais e do plantio direto no aumento da estabilidade de agregados, o que é fator importante no que se refere a melhor infiltração de água no solo e, consequentemente, redução da erosão hídrica, que é altamente dependente da estabilidade física do solo.

O plantio direto constitui-se, assim, numa alternativa de manejo capaz de diminuir as perdas por erosão, preservar as propriedades físicas e a capacidade produtiva do solo (SILVA e MIELNICZUK, 1997). Normalmente, quando manejado em condições adequadas de umidade, não tem sido verificado aumento na densidade do solo que evidenciem impedimento ao desenvolvimento radicular (COSTA et al., 2003). No entanto, ainda não está bem compreendido o comportamento de algumas propriedades físicas do solo nesse sistema de

manejo, bem como sua relação e o comportamento de determinadas culturas, neste caso, a cebola. Dessa forma, a adição contínua de biomassa ao solo e a redução na intensidade de revolvimento são estratégias importantes para melhoria da condição estrutural, contribuindo para a conservação do solo em áreas de produção hortícola, especialmente em ambientes sensíveis, como nas regiões declivosas (PINHEIRO et al., 2004).

Como um sistema de manejo do solo, o plantio direto incorpora uma mudança nas práticas agronômicas, eliminando o revolvimento do solo e promovendo a biodiversidade pela rotação de culturas, além de manter o solo coberto com culturas em crescimento ou com resíduos vegetais. Os impactos ambientais e sociais advindos de práticas de utilização das terras com sistemas não conservacionistas são o aumento do assoreamento dos rios, contaminação das águas e queda de produtividade dos cultivos, que acabam desestimulando o agricultor e aumentando o êxodo rural (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990).

A evolução da conservação do solo por meio do manejo vem ganhando espaço, como é visto pela diversidade de culturas e de regiões do país, inserindo-se neste contexto, de forma a viabilizar uma agricultura mais sustentável.

3 CAPÍTULO I - PLANTIO DIRETO DE CEBOLA COM ROTAÇÃO DE CULTURAS EM CAMBISSOLO HÚMICO DISTRÓFICO: ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

3.1 RESUMO

Sistemas de cultivo e de manejo de solo podem alterar as propriedades químicas do solo. O comprometimento das condições produtivas dos solos agrícolas agrava-se, principalmente, quando práticas conservacionistas não são observadas. Os estoques de matéria orgânica do solo e seus compartimentos são importantes na disponibilidade e ciclagem de nutrientes, dentre outros atributos químicos e físicos. O presente trabalho avaliou os teores de carbono orgânico (CO), nitrogênio total (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), pH em água e em CaCl_2 e acidez potencial ($\text{H} + \text{Al}$), após três anos (2007 a 2010), em sistema de manejo conservacionista do solo e rotação de culturas para cultivo de cebola. O estudo foi realizado em um Cambissolo Húmico Distrófico, em Ituporanga, SC. Oito tratamentos, envolvendo sistemas de rotação de culturas para cebola foram testados e comparados com uma área de produção de cebola sob manejo convencional. O solo foi analisado nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. O teor de carbono orgânico, em todos os tratamentos no sistema de plantio direto foi superior ao preparo convencional. Os teores de N e P foram diferentes entre os tratamentos no plantio direto, o mesmo sendo verificado para pH e acidez potencial. O teor de K diferiu entre os tratamentos apenas na terceira camada da área experimental. A concentração de N, P e K foi inferior no sistema de preparo convencional em relação ao plantio direto. A redução na intensidade de revolvimento e o uso de plantas de cobertura em sistemas de cultivo mostraram-se uma estratégia importante para ciclagem, manutenção do aporte de nutrientes e conservação do solo.

Palavras-Chave: Nutrientes. Manejo conservacionista do solo. Preparo convencional. *Allium cepa*.

3.2 ABSTRACT

Cropping and tillage systems can change soil chemical properties. The limits on agricultural land productivity increases, especially when conservation practices are not observed. Stocks of soil organic matter and its pools are important concerning to nutrient cycling and their availability, among other chemical and physical attributes. This study evaluated organic carbon (OC), total nitrogen (N), phosphorus (P) potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), aluminum (Al), soil water and CaCl_2 pH and potential acidity ($\text{H} + \text{Al}$) after three years (2007 to 2010) using a conservation soil management system and crop rotation for growing onions. The study was conducted in a Humic Dystrophic Cambisol in Ituporanga, SC. Eight treatments, involving crop rotation systems for onions were tested and compared with an area of onion production under conventional management. Soil samples were analyzed in the 0-5, 5-10 and 10-20 cm layers. The organic carbon content in all treatments under no-tillage system was higher than the conventional tillage. The N and P were different among some treatments in no-till, and the same results were observed for pH and potential acidity. The K content differed between treatments only in the third layer. The concentration of N, P and K was lower in conventional tillage compared to no tillage. The reduction in the intensity of soil tillage and use of cover crops in cropping systems were an important strategy for cycling and maintenance of nutrient accumulation and conservation of soil and water.

Keywords: Nutrients. Soil conservation management. Tillage. *Allium cepa*.

3.3 INTRODUÇÃO

O solo é um importante componente do ecossistema e seu manejo influencia a qualidade do ar e da água. Atualmente é crescente o interesse por sistemas de manejo do solo com viabilidade econômica das lavouras, no que se refere a custos com insumos, manutenção produtiva das terras e preservação ambiental. O uso de sistemas convencionais de manejo do solo eleva as perdas de nutrientes e de matéria orgânica por erosão, os custos financeiros e os riscos ambientais. A eutrofização de mananciais pode ser atribuída ao acúmulo de nutrientes decorrente da deposição de resíduos das lavouras carregados pela enxurrada.

O emprego de preparo convencional do solo com aração e gradagem causa, após alguns anos, uma série de modificações nas propriedades do solo, em relação ao sistema conservacionista. A comparação das propriedades químicas entre o sistema de plantio direto (PD) e sistema de preparo convencional (PC) tem sido relatada em vários trabalhos de longa duração (RHEINHEIMER et al., 1998; DE MARIA et al., 1999; SCHLINDWEIN e ANGHINONI, 2000; SILVEIRA e STONE, 2001). Entretanto os estudos comparando os dois sistemas de manejo do solo, PC e PD com rotação de culturas para hortaliças, no que se refere às propriedades químicas, são escassos. Em geral, no PD sob rotação de culturas tem sido registrados maiores teores de matéria orgânica, fósforo, potássio, cálcio e magnésio na camada superficial do solo, em relação às camadas mais profundas (SÁ, 1993; DE MARIA et al., 1999; SILVEIRA e STONE, 2001) e consequentemente manutenção maior de quantidade de nutrientes no solo.

A distribuição de nutrientes no perfil do solo, no plantio direto é afetada pela ciclagem feita pelas plantas e influenciada pela ausência do preparo, ocasionando sua concentração na camada superficial, principalmente dos elementos menos móveis. Nessa situação os teores de matéria orgânica do solo podem ser preservados, pois há redução na taxa de decomposição, devido a não fragmentação dos resíduos pelo não revolvimento do solo. Entretanto, não somente a taxa de decomposição se faz importante, também a capacidade do sistema em suprir carbono para o solo.

Sabendo-se que as alterações na química do solo em plantio direto são relacionadas ao acúmulo de matéria orgânica, deve-se favorecer a utilização de sistemas de rotação de culturas. Outras alterações importantes desses processos no sistema de plantio direto são o

aumento da capacidade de troca de cátions, a diminuição da toxidez de alumínio e a diminuição do potencial do solo em reter fósforo em formas indisponíveis. A mineralização lenta e gradual dos resíduos orgânicos libera e a redistribui formas orgânicas de fósforo, mais móveis no solo e menos susceptíveis às reações de adsorção (ANGHINONI, 2009a). Segundo o mesmo autor, os ácidos orgânicos diminuem a sorção de fósforo pela competição pelos sítios de adsorção do solo, aumentando a concentração deste elemento na solução.

O manejo conservacionista do solo, pela presença da planta e seus resíduos, a atividade radicular (agregação e ciclagem de nutrientes) e a relação entre agregação e acúmulo de matéria orgânica ocasionam alterações no ciclo de outros nutrientes, como o potássio. Nessa circunstância, a dinâmica do potássio é alterada no solo pelo aumento da capacidade de troca de cátions e por sua ciclagem via culturas comerciais de cobertura do solo. O aumento da CTC e do pH do solo, devidos à elevação do teor de matéria orgânica, aumentam a capacidade do solo em reter K, reduzindo seu teor na solução, com diminuição das perdas por lixiviação.

A adoção de culturas antecedentes ao cultivo comercial em sistemas de rotação resulta numa série de benefícios à qualidade do solo e ao rendimento das culturas. Tem grande influência na dinâmica do N do solo e, consequentemente, na sua disponibilidade para a cultura em sucessão (BAYER et al., 1998). Potencialmente, a utilização de leguminosas possibilita a diminuição sensível na aplicação de N (AMADO et al., 2002), pois a fixação biológica indica o ingresso de N no sistema, representando a adubação verde e concomitante a economia de fertilizantes nitrogenados.

Um dos fatores importantes na determinação da produtividade das culturas é a disponibilidade de nutrientes às plantas, os quais existem no solo como consequência do manejo adotado, das culturas e das fertilizações aplicadas. Isso significa que, em primeiro lugar, manejar efetivamente nutrientes às plantas é criar um ambiente no solo capaz de proporcionar o melhor sincronismo entre liberalização – disponibilização de nutrientes e absorção pelas plantas. Do total de nutrientes absorvidos pelas plantas, apenas parte é exportado da lavoura. Isto mostra que muitos nutrientes acumulados nas plantas voltam para o solo, o que depende do manejo adotado, permitindo maior eficiência a partir da ciclagem no sistema solo/planta.

Como o solo é um sistema aberto, onde as perdas de nutrientes, especialmente por escoamento superficial são significativas, torna-se fundamental a utilização de plantas de cobertura e rotação de culturas em períodos ociosos, objetivando a produção de material vegetal para proteção do solo e ciclagem de nutrientes. Deve-se considerar se o solo está

sendo manejado de forma a permitir uma adequada conservação e manutenção de estrutura física capaz de permitir alta taxa de infiltração de água e crescimento das raízes. Somente assim torna-se possível as plantas explorarem adequadamente os recursos naturais e aqueles adicionados ao solo (nutrientes) visando a produtividade desejada.

Este trabalho teve o objetivo de avaliar a influência de sistemas de manejo conservacionista do solo e rotação de culturas para cultivo de cebola sobre atributos químicos de um Cambissolo Húmico Distrófico.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi implantado em abril de 2007, no município de Ituporanga, SC, na Estação Experimental da EPAGRI. O solo é um Cambissolo Húmico Distrófico, derivado de sedimentos permianos do Grupo Guatá. O clima é do tipo mesotérmico úmido com verões quentes, Cfa, segundo a classificação de Köppen (SANTA CATARINA, 1991).

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, compreendendo oito tratamentos, avaliados em três camadas e com cinco repetições. Os tratamentos abrangeram sistemas de cultivo para cultura da cebola, baseados em diferentes coberturas do solo utilizadas para produção de palha no sistema de plantio direto (Figuras 1A e 1B). Na implantação do experimento foi semeada a cobertura de aveia/ervilhaca/nabo e, posteriormente foram implantados os seguintes tratamentos: T1 - milho e cebola (sucessão); T2 - milho, aveia/nabo/centeio, cebola, girassol, aveia/nabo/ervilhaca, feijão, centeio/nabo, cebola; T3 - milho, aveia/nabo, cebola, milho safrinha e ervilhaca, milho, centeio, cebola; T4 - milho, aveia/nabo/centeio, cebola, mucuna, centeio, milho, nabo, cebola; T5 - cebola, milheto, nabo, cebola, milheto, aveia/nabo/ervilhaca, milho, cevada, cebola; T6 - cebola, feijão de porco, centeio, cebola, mucuna, centeio, cebola, mucuna, centeio, cebola; T7 - cebola, milheto/feijão de porco, aveia, cebola, crotalaria, centeio, milho, aveia, cebola; e T8 - cebola, girassol, aveia/centeio, cebola, girassol/mucuna/milheto e ervilhaca, milho, aveia/nabo/centeio, cebola (Tabela 1).



Figura 1. A - Vista do experimento - Estação Experimental da EPAGRI em Ituporanga - fase de desenvolvimento de plantas de cobertura. B - Área experimental em fase de cultivo de cebola sob sistema de plantio direto com rotação de culturas.

Tabela 1 - Tratamentos implantados na rotação de culturas para cultivo de cebola sob manejo conservacionista do solo, de 2007 a 2010, Ituporanga, SC.

Tratamentos	2007				2008				2009				2010	
	Inverno		Verão		Inverno		Verão		Inverno		Verão		Inverno	
T1	Aveia+ Ervilhaca+ Nabo	Milho	Milho		Pousio	Cebola	Milho		Cebola	Milho			Pousio	Cebola
T2	Aveia+ Ervilhaca+ Nabo	Milho	Milho		Aveia+ Nabo+ Centeio	Cebola	Girassol		Aveia+ Ervilhaca+ Nabo	Feijão			Centeio+ Nabo	Cebola
T3	Aveia+ Ervilhaca+ Nabo	Milho	Milho		Aveia+ Nabo	Cebola	Milho Safrinha		Ervilhaca	Milho			Centeio	Cebola
T4	Aveia+ Ervilhaca+ Nabo	Milho	Milho		Aveia+ Nabo+ Centeio	Cebola	Mucuna		Centeio	Milho			Nabo	Cebola
T5	Aveia+ Ervilhaca+ Nabo	Cebola	Milheto		Nabo	Cebola	Milheto		Aveia+ Ervilhaca+ Nabo	Milho			Cevada	Cebola
T6	Aveia+ Ervilhaca+ Nabo	Cebola	Feijão Porco		Centeio	Cebola	Mucuna		Cebola	Mucuna			Centeio	Cebola
T7	Aveia+ Ervilhaca+ Nabo	Cebola	Feijão Porco+ Milheto		Aveia	Cebola	Crotalária		Centeio	Milho			Aveia	Cebola
T8	Aveia+ Ervilhaca+ Nabo	Cebola	Girassol		Aveia+ Centeio	Cebola	Girassol+ Mucuna+ Milheto		Ervilhaca	Milho			Centeio+ Aveia+ Nabo	Cebola

Para escolha das espécies procurou-se usar plantas comerciais freqüentemente usadas na região, com boa adaptação, com facilidade de encontrar sementes no mercado, de fácil manejo e com boa produção de matéria seca. Procurou-se conciliar a parte comercial com a parte técnica, através da inserção de tratamentos que possibilitassem a adoção pelos

agricultores ao mesmo tempo em que pudessem elucidar as dúvidas relacionadas a aspectos químicos na adoção do sistema de plantio direto para a cultura da cebola.

A área de implantação do experimento vem sendo cultivada em sistema de produção conservacionista desde 1995, quando foi realizada a última correção do solo e elevou-se o pH para 6,0. Desde então, os cultivos manejados no local de instalação do experimento estão sob plantio direto, sem intervenções de preparo.

As adubações realizadas durante o período experimental ocorreram somente nos períodos de cultivo de cebola e de milho. Para a cebola, a adubação foi de 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 60 kg ha⁻¹ de K₂O, e 75 kg ha⁻¹ de N, sendo a aplicação de P e K realizadas nos plantios de cebola e a de N feita com 15 kg ha⁻¹ no plantio e o restante em cobertura aos 45, 65 e 85 dias após o transplante das mudas de cebola. Usou-se aproximadamente 12 sacos/ha de adubo 05-20-10. Este sistema foi adotado todos os anos apenas nas safras com a cultura da cebola. Com relação ao fósforo, como os teores estavam muito altos, na última safra (2010) utilizou-se somente adubação com 50 kg ha⁻¹ de P. Para a cultura do milho não foi realizada adubação com P e K devido aos valores altos destes nutrientes. Foram realizadas adubações nitrogenadas em cobertura com 90 kg ha⁻¹ de N - fonte: uréia, quando o milho tinha entre seis e oito folhas.

A dimensão das parcelas foi de 8,7 m² cada e constituídas de sete fileiras com 30 plantas de cebola. As amostras de solo foram coletadas em fevereiro de 2010, dois anos após a implantação do experimento, nas camadas 0-5, 5-10 e 10-20 cm.

Na mesma data da coleta de solo na área experimental, também foram realizadas coletas de amostras de solo em área de mata nativa e em área manejada sob sistema de preparo convencional cultivada com cebola, a fim de avaliar as situações conforme os sistemas de manejo. Ambas as áreas encontravam-se nas proximidades da área do experimento e sob mesmo relevo e condições de clima.

A adubação realizada na área de preparo convencional com cultivo de cebola foi de 20 sacos/ha de adubo da mesma fórmula utilizada no experimento com plantio direto (05-20-10).

A análise granulométrica do solo das três áreas avaliadas (Plantio direto, Mata nativa e Preparo convencional) foi realizada para verificar a uniformidade e validar as comparações. Os teores de argila variaram de 323 a 359 g kg⁻¹, com textura franco argilo siltosa a franco argilo arenosa (Tabela 2).

Tabela 2- Média ponderada da distribuição do tamanho de partículas para a camada de 0 a 20 cm nas três áreas avaliadas, de plantio direto e rotação de culturas para cebola, de preparo convencional e de mata nativa, em Ituporanga, SC.

Uso do solo	Areia	Silte	Argila
	----- (g kg ⁻¹) -----		
Plantio direto	410	264	326
Mata nativa	144	497	359
Preparo convencional	507	170	323

Média de cinco repetições para mata e preparo convencional e quarenta repetições para plantio direto.

Para as análises químicas do solo foram coletadas amostras com trado calador, sendo efetuadas 20 sub-amostras por parcela para compor uma amostra composta. Partindo-se de amostras deformadas secas e peneiradas, na fração terra fina seca ao ar foram determinados pH em água e em CaCl_2 , acidez potencial ($\text{H} + \text{Al}$). O pH do solo foi determinado nas relações 1:1 para pH em água e pH em sal com solução de CaCl_2 0,01 mol L⁻¹. A acidez potencial descrita por ($\text{H} + \text{Al}$) foi extraída com solução de acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ em pH 7 e quantificada por titulometria de neutralização com hidróxido de sódio (NaOH) (EMBRAPA, 1997). Foram analisados os teores de carbono orgânico, N total, P, K, Al, Ca e Mg. O carbono orgânico total foi determinado por combustão úmida, com oxidação com dicromato de potássio e determinação por titulometria. O nitrogênio total foi extraído com digestão e destilação da amostra e determinado por titulação com solução de H_2SO_4 0,025 mol L⁻¹. P e K foram extraídos com solução ácida de Mehlich-1, sendo o K determinado por fotometria de chama e o P por colorimetria. Ca e Mg foram extraídos com solução KCl 1 mol L⁻¹, e determinados por espectrofotometria de absorção atômica. O Al trocável foi extraído com solução KCl 1 mol L⁻¹ e determinado por titulometria de neutralização com NaOH 0,0125 mol L⁻¹ (TEDESCO et al., 1995).

A produção de massa seca das plantas de cobertura (inverno e verão), de cada tratamento foi amostrada dentro de um quadro de madeira com 0,25 m², com duas subamostras por parcela. Posteriormente foi realizada a secagem em estufa de 60° C e pesagem do material vegetal coletado.

Os resultados foram submetidos à análise da variância pelo teste F, e para comparação das médias foi aplicado o teste t ($P < 0,05$). Para a área de preparo convencional e da mata calcularam-se intervalos de confiança a 5%.

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de carbono orgânico (Tabela 3 – Apêndice B) variaram entre os sistemas de rotação, de 21 a 33 g kg⁻¹. A diferença ocorreu entre os tratamentos 7 e 3, em relação ao tratamento 1 na primeira camada e entre o tratamento 4, em relação aos tratamentos 3 e 8, na segunda camada. Na terceira camada não houve diferença entre os tratamentos. As variações encontradas, provavelmente foram decorrentes das diferentes quantidades e qualidades de resíduos vegetais proveniente da parte aérea e das raízes das plantas de cobertura utilizadas no sistema de rotação. A maior diferença no incremento de C entre os tratamentos foi devida à variação nas adições pelas plantas de cobertura, já que se adotaram rotações distintas, exceto no tratamento 1, que teve sucessão entre as culturas milho e cebola, permanecendo em pousio no período entre estes cultivos. Os sistemas conservacionistas tendem a preservar a matéria orgânica pelo acúmulo de resíduos vegetais, e principalmente, pela redução da taxa de decomposição devido ao não revolvimento do solo, e quando incluída a rotação de culturas, por promover maior entrada de resíduos no sistema.

O carbono orgânico foi inferior no sistema de pregaro convencional em todas as camadas, variando de 15 a 18 g kg⁻¹, o que se relaciona a menor permanência dos resíduos vegetais sobre a superfície do solo. Além disso, o revolvimento do solo reduz a estabilidade física da matéria orgânica, principalmente pela ruptura de agregados (CARTER et al., 1994) e incremento da oxigenação (REICOSKY e LINDSTROM, 1993), com perda de qualidade do solo. Com isto, pode-se atribuir à inclusão das plantas de cobertura associadas ao não revolvimento, o potencial das mesmas em fixar CO₂ atmosférico e promover o acúmulo de C no solo.

A mata nativa teve maior teor de carbono orgânico em todas as camadas, com variação de 24 a 46 g kg⁻¹. Este resultado era esperado, considerando tratar-se de um solo sob vegetação perene, sem pastoreio por animais, com aporte de materiais pela serrapilheira (DALAL e MAYER, 1986; BAYER et al., 2000).

As maiores adições ocorreram na mata nativa e nos tratamentos do plantio direto devido a cobertura e o manejo, o que evidencia o potencial destas práticas em aumentar os estoques de C ao solo.

Tabela 3- Carbono orgânico, nitrogênio total, fósforo, potássio, cálcio e magnésio em um Cambissolo Húmico Distrófico em função dos diferentes sistemas de manejo e rotação de culturas para cebola, comparativamente ao preparo convencional e solo sob mata nativa, em Ituporanga, SC.

Tratamentos	Carbono orgânico	N	P	K	Ca	Mg
	Camada 0-5 cm					
	(g kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)		(cmolc kg ⁻¹)		
1	29,2 B	2,4 AB	126 AB	261 A	9,3 A	4,4 ABC
2	31,9 AB	2,2 B	112 B	190 A	9,8 A	5,1 A
3	33,2 A	2,5 AB	119 B	218 A	9,4 A	4,4 BC
4	31,8 AB	2,7 A	127 AB	191 A	10,0 A	4,1 BC
5	31,4 AB	2,5 AB	127 AB	197 A	9,8 A	4,2 BC
6	31,1 AB	2,5 AB	165 A	202 A	9,8 A	4,0 BC
7	32,5 A	2,4 AB	123 AB	204 A	10,4 A	4,6 AB
8	32,1 AB	2,7 A	128 AB	201 A	9,8 A	3,8 C
Média	31,6	2,5	128	208	9,8	4,3
CV (%)	7	14	27	29	12	14
PC (m±IC95%)	18,2 ± 1	1,4 ± 0,2	77 ± 13	138 ± 28	8,8 ± 0,6	4,6 ± 0,3
MN (m±IC95%)	46,9 ± 7	4,8 ± 0,7	7 ± 2	169 ± 37	6,7 ± 2,8	3,8 ± 0,9
Camada 5-10 cm						
1	24,2 AB	2,1 A	76 AB	199 A	8,6 A	4,2 AB
2	24,6 AB	1,9 A	74 AB	215 A	8,7 A	4,5 A
3	23,1 B	2,1 A	81 AB	218 A	8,3 A	4,0 A
4	26,1 A	2,0 A	86 AB	145 A	9,3 A	4,2 AB
5	25,0 AB	1,9 A	80 AB	176 A	8,7 A	3,5 B
6	24,2 AB	2,0 A	106 A	145 A	9,1 A	3,7 AB
7	25,0 AB	1,9 A	72 AB	152 A	9,0 A	4,3 AB
8	23,3 B	2,0 A	64 B	176 A	8,3 A	3,5 B
Média	24,4	2,0	80	178	8,8	4,0
CV (%)	6	14	36	39	13	16
PC (m±IC95%)	19,6 ± 3	1,7 ± 0,5	50 ± 33	111 ± 57	8,1 ± 1,51	3,4 ± 0,66
MN (m±IC95%)	30,1 ± 3	2,9 ± 0,6	2 ± 1	146 ± 48	4,0 ± 3,3	2,6 ± 1,4
Camada 10-20 cm						
1	20,9 A	1,6 A	48 A	168 A	8,5 A	3,8 A
2	21,1 A	1,7 A	56 A	166 A	8,9 A	4,3 A
3	21,6 A	1,6 A	41 A	160 AB	8,2 A	3,8 A
4	22,3 A	1,7 A	44 A	104 AB	8,6 A	3,7 A
5	20,9 A	1,6 A	35 A	102 AB	8,1 A	3,7 A
6	20,5 A	1,7 A	51 A	87 B	8,4 A	3,8 A
7	21,9 A	1,5 A	35 A	108 AB	9,5 A	4,3 A
8	20,5 A	1,6 A	31 A	102 AB	7,9 A	3,4 A
Média	21,2	1,6	42	125	8,5	3,8
CV (%)	8	13	42	47	15	18
PC (m±IC95%)	15,9 ± 2	1,2 ± 0,1	22 ± 7	101 ± 24	7,9 ± 0,72	3,2 ± 0,30
MN (m±IC95%)	24,5 ± 9	2,3 ± 0,3	1 ± 0,4	119 ± 19	3,5 ± 3,2	2,2 ± 0,9

T1: milho e cebola (sucessão); T2: milho, aveia/nabo/centeio, cebola, girassol, aveia/nabo/ervilhaca, feijão, centeio/nabo, cebola; T3: milho, aveia/nabo, cebola, milho safrinha e ervilhaca, milho, centeio, cebola; T4: milho, aveia/nabo/centeio, cebola, mucuna, centeio, milho, nabo, cebola; T5: cebola, milheto, nabo, cebola, milheto, aveia/nabo/ervilhaca, milho, cevada, cebola; T6: cebola, feijão de porco, centeio, cebola, mucuna, centeio, cebola, mucuna, centeio, cebola; T7: cebola, milheto/feijão de porco, aveia, cebola, crotalária, centeio, milho, aveia, cebola; e T8: cebola, girassol, aveia/centeio, cebola, girassol/mucuna/milheto e ervilhaca, milho, aveia/nabo/centeio, cebola. CV: Coeficiente de variação. PC: Preparo convencional e MN: Mata Nativa, com valores expressos pela média e intervalo de confiança (m±IC95%). Letras maiúsculas comparam os tratamentos na mesma profundidade pelo teste de t (P<0,05).

O teor de N total apresentou variações entre tratamentos na primeira camada (Tabela 3 – Apêndice B). Ocorreu diferença entre os tratamentos 4 e 8 em relação ao tratamento 2. Pode-se atribuir esse incremento pela adubação verde proveniente da mucuna nos tratamentos 4 e 8, considerando ainda a rápida decomposição desta planta de cobertura. Amado et al. (1999) demonstraram que a utilização de leguminosas por longo tempo, além de aumentar o estoque de N, favorece o fornecimento desse nutriente às culturas. Isto evidencia o potencial de plantas de cobertura, no caso de leguminosas, de fixação simbótica em aumentar as adições de N ao solo. Ademais no sistema de plantio direto, a cobertura morta é formada por diferentes resíduos vegetais em várias fases de decomposição e contém grande quantidade de N imobilizado, constituindo importante reservatório desse nutriente.

Na segunda e na terceira camada não houve diferença significativa para N total entre os tratamentos. O teor de nitrogênio total foi maior na mata nativa, comparado aos sistemas de cultivo nas três camadas do solo, provavelmente pelo aporte de serrapilheira, o que influenciou também os teores de carbono orgânico.

De acordo com Wiethölter (2000), o aumento do teor de matéria orgânica nas camadas próximas à superfície, observado em sistemas conservacionistas, normalmente é acompanhado por incremento no teor de N do solo. A maior diferença na adição de C e N entre os sistemas de cultura foi devida à variação nas adições pelas plantas de cobertura (Tabela 1). As leguminosas de verão, pela rusticidade, potencial de produção de fitomassa e fixação biológica de N₂ constituem-se em alternativa interessante, na adição de C ao solo, na ciclagem de nutrientes e também como fonte de N as culturas comerciais.

Estes resultados sugerem que os sistemas de manejo conservacionistas do solo contribuem para a manutenção ou elevação da matéria orgânica e, após alguns anos, provavelmente para o aumento no suprimento de nitrogênio do solo, determinante no rendimento da maioria das culturas.

Os teores de fósforo (Tabela 3 – Apêndice B) variaram de 31 a 165 mg kg⁻¹, sendo considerados muito altos, refletindo as adubações pesadas utilizadas na cultura da cebola. O fósforo foi maior no tratamento 6, nas duas primeiras camadas, provavelmente devido ao maior número de vezes com o cultivo de cebola recebendo adubações com P neste tratamento. Na terceira camada não houve diferença entre os tratamentos. O sistema de preparo convencional apresentou menor teor de fósforo na primeira e na terceira camada, comparado aos sistemas de rotação, possivelmente pela maior perda do nutriente e ausência de plantas de cobertura participando no processo de ciclagem dos nutrientes.

O teor de potássio, não diferiu entre os tratamentos nas duas primeiras camadas do solo. Na terceira camada houve maior teor de K nos tratamentos 1 e 2, em relação ao 6, possivelmente em função de variações na extração do elemento pela cebola ou pelas plantas de cobertura. No sistema de cultivo convencional os teores de K foram inferiores ao plantio direto nas camadas 1 e 2. Os teores de P na mata nativa foram inferiores aos sistemas de cultivo nas três camadas do solo, o que se relaciona ao efeito da adubação.

Os teores de Ca (Tabela 3 – Apêndice B) não apresentaram diferença entre os tratamentos nas três camadas do solo. Os níveis de Ca no plantio direto variaram de 7,9 a 10,4 cmolc kg⁻¹, considerados satisfatórios já que são superiores ao nível considerado crítico pela CQFS-RS/SC (2004). Na primeira camada de solo, o teor deste nutriente foi maior no sistema de plantio direto do que no sistema de preparo convencional. Na segunda e na terceira camada não houve diferença significativa entre os sistemas de preparo. Para a mata nativa, o teor de Ca foi inferior ao sistema de plantio direto nas três camadas do solo avaliadas. A presença de maiores teores de Ca no sistema de plantio direto pode ser explicada pela maior quantidade de matéria orgânica neste sistema, o que promove maior quantidade de cargas negativas e maior CTC (capacidade de troca de cátions). Segundo Peixoto (1997), a matéria orgânica é o componente coloidal que mais interfere na capacidade de troca catiônica do solo.

O Mg (Tabela 3 – Apêndice B) os teores variaram de 3,4 a 5,1 cmolc kg⁻¹ no plantio direto, e foram semelhantes aos valores encontrados no PC e MN. Na primeira camada, os teores de Mg foram maiores no tratamento 2 e menores no tratamento 8. Na segunda camada os tratamentos 2 e 3 apresentaram maiores teores de Mg do que o 5 e o 8. Na terceira camada de solo analisada não houve diferença significativa para Mg entre os tratamentos. Estas diferenças possivelmente decorrem de variações na extração pelas plantas de cobertura.

Quanto aos indicadores de acidez (Tabela 4 – Apêndice B) do solo, o pH em água apresentou algumas variações entre tratamentos, sendo que na primeira camada o tratamento 7 mostrou pH superior ao tratamento 1, e na segunda camada superior ao tratamento 8. Na terceira camada os tratamentos 7 e 2 apresentaram pH maiores que o tratamento 8. Essas diferenças relacionadas à acidez do solo possivelmente estão relacionadas com o balanço da absorção de cátions e ânions pelas diferentes plantas de cobertura adotadas no sistema de rotação. Além disso, vale salientar que no tratamento 1 (sucessão milho-cebola) foram realizadas adubações com uréia, o que pode justificar o menor pH deste tratamento na primeira camada.

No sistema de cultivo convencional de cebola, o pH do solo foi superior ao plantio direto nas camadas 1 e 3. Somente na segunda camada, o pH do tratamento 7 não diferiu da

área de cultivo convencional. As variações no pH do solo entre os sistemas de cultivo possivelmente são relacionadas a variações na calagem utilizada nestas áreas. Alguns autores constataram valores mais baixos de pH em sistema de plantio direto nas camadas mais superficiais do solo (BLEVINS et al., 1983; CIOTTA et al., 2002). Isso pode ser atribuído à acidificação ocasionada pela decomposição dos restos culturais e liberação de ácidos orgânicos (BAYER, 1992).

Vale salientar que o pH da área sob plantio direto estava em torno de 5,5, o que está relacionado à correção da acidez do solo realizada há 15 anos. O equilíbrio no pH do solo em sistemas de plantio direto pode ser resultado do maior acúmulo e ação contínua de resíduos orgânicos pelo sistema de rotação de culturas, que reduz os efeitos nocivos da acidez do solo e da toxidez por alumínio, pela liberação de ácidos orgânicos de baixo peso molecular - cítrico, oxálico, málico entre outros (ANGHINONI, 2009b).

A mata nativa teve pH em água e em sal inferior em todas as camadas do solo analisadas, devido a acidez natural nestes locais e ausência de corretivos.

Para acidez potencial do solo, determinada por H+Al, o tratamento 8 apresentou maior acidez potencial do que o tratamento 2, na primeira e na segunda camada. Na terceira camada, o tratamento 8 permaneceu exibindo acidez potencial superior ao tratamento 2 e também ao 7. No sistema de cultivo convencional de cebola, a acidez potencial foi inferior comparada com os sistemas conservacionistas. Já na mata nativa ocorreu o inverso, onde H+Al foi superior comparado aos tratamentos e seguindo a mesma lógica dos valores de pH, resultados decorrentes das práticas de manejo para correção da acidez do solo.

Para o teor de Al trocável ocorreram diferenças entre os tratamentos avaliados. Na primeira camada de solo, os tratamentos 4 e 8 apresentaram maior teor de Al que o tratamento 2. Na segunda e na terceira camada o tratamento 8 mostrou maior teor de Al do que os tratamentos 2 e 7. Essas diferenças entre tratamentos devem-se à provável complexação desse elemento químico pelos compostos orgânicos, gerados no processo de decomposição dos resíduos vegetais (SALET, 1994), com maior ou menor potencialidade de acordo com as diferentes coberturas existentes.

No sistema de preparo convencional de cebola, na primeira e na terceira camada do solo, os teores de Al foram inferiores ao plantio direto, enquanto que na segunda camada não houve diferença significativa. Este comportamento provavelmente foi decorrente dos efeitos da calagem na elevação do pH e na neutralização desse elemento.

Na mata nativa, as três camadas do solo apresentaram teor de Al superior ao sistema de plantio direto, em concordância com os valores de pH observados nesta área.

Tabela 4- Indicadores da acidez do solo em um Cambissolo Húmico Distrófico em função dos diferentes sistemas de manejo e rotação de culturas para cebola, comparativamente ao preparo convencional e solo sob mata nativa, em Ituporanga, SC.

Tratamentos	pHágua	pHsal	H+Al	Al
	Camada 0-5 cm			
	----- (cmolc kg ⁻¹) -----			
1	5,3 C	4,7 B	6,3 AB	0,2 AB
2	5,7 AB	5,1 A	5,2 B	0,1 B
3	5,4 BC	4,7 B	6,5 AB	0,2 AB
4	5,7 ABC	4,9 AB	6,4 AB	0,3 A
5	5,4 ABC	4,9 AB	6,2 AB	0,2 AB
6	5,4 ABC	4,8 AB	5,8 AB	0,2 AB
7	5,7 A	5,1 A	5,3 AB	0,2 AB
8	5,4 ABC	4,7 B	6,7 A	0,3 A
Média	5,5	4,9	6,0	0,2
CV (%)	4,8	4	19	59
PC (m±IC95%)	6,3 ± 0,4	5,7 ± 0,2	2,5 ± 0,6	0,05 ± 0,03
MN (m±IC95%)	4,4 ± 0,3	3,8 ± 0,3	14,1 ± 6,0	5,1 ± 3,2
Camada 5-10 cm				
1	5,5 AB	4,8 AB	6,0 AB	0,3 AB
2	5,7 AB	4,9 AB	4,8 B	0,2 B
3	5,5 AB	4,8 AB	6,0 AB	0,3 AB
4	5,5 AB	4,8 AB	6,1 AB	0,3 AB
5	5,5 AB	4,8 AB	6,1 AB	0,3 AB
6	5,5 AB	4,8 AB	5,7 AB	0,3 AB
7	5,7 A	5,0 A	5,1 B	0,2 B
8	5,4 B	4,6 B	6,7 A	0,5 A
Média	5,5	4,8	5,8	0,3
CV (%)	5	4	19	70
PC (m±IC95%)	6,0 ± 0,5	5,23 ± 0,48	3,8 ± 1,6	0,2 ± 0,4
MN (m±IC95%)	4,5 ± 0,3	3,7 ± 0,3	12,9 ± 3,8	7,1 ± 4,1
Camada 10-20 cm				
1	4,8 AB	4,8 AB	5,5 AB	0,3 AB
2	5,0 A	5,0 A	4,7 B	0,2 B
3	4,8 AB	4,8 AB	5,5 AB	0,4 AB
4	4,9 AB	4,9 AB	5,6 AB	0,4 AB
5	4,8 AB	4,8 AB	5,8 AB	0,5 AB
6	4,9 AB	4,9 AB	5,4 AB	0,4 AB
7	5,1 A	5,1 A	4,6 B	0,2 B
8	4,7 B	4,7 B	6,3 A	0,7 A
Média	5,6	4,8	5,4	0,4
CV (%)	5	5	19	77
PC (m±IC95%)	6,1 ± 0,3	5,37 ± 0,25	3,2 ± 0,6	0,05 ± 0,03
MN (m±IC95%)	4,5 ± 0,3	3,7 ± 0,3	12,9 ± 4,1	7,6 ± 4,2

T1: milho e cebola (sucessão); T2: milho, aveia/nabo/centeio, cebola, girassol, aveia/nabo/ervilhaca, feijão, centeio/nabo, cebola; T3: milho, aveia/nabo, cebola, milho safrinha e ervilhaca, milho, centeio, cebola; T4: milho, aveia/nabo/centeio, cebola, mucuna, centeio, milho, nabo, cebola; T5: cebola, milheto, nabo, cebola, milheto, aveia/nabo/ervilhaca, milho, cevada, cebola; T6: cebola, feijão de porco, centeio, cebola, mucuna, centeio, cebola, mucuna, centeio, cebola; T7: cebola, milheto/feijão de porco, aveia, cebola, crotalária, centeio, milho, aveia, cebola; e T8: cebola, girassol, aveia/centeio, cebola, girassol/mucuna/milheto e ervilhaca, milho, aveia/nabo/centeio, cebola. PC: Preparo convencional e MN: Mata Nativa, com valores expressos pela média e intervalo de confiança (m±IC95%). Letras maiúsculas compararam os tratamentos na mesma profundidade pelo teste de t (P<0,05).

A produção de massa seca das plantas de cobertura no inverno de 2008 variou de 3.133 a 5.104 kg ha⁻¹, não diferindo entre os tratamentos (Tabela 5).

No verão de 2008, a produção de massa seca obtida pelas plantas de cobertura variou de 870 a 3.085 kg ha⁻¹, onde os tratamentos 1 e 5 apresentaram maior produção de massa seca, o que pode ser atribuído à contribuição do milho e milheto. Tais plantas com rápido crescimento e porte privilegiado proporcionam alta produção de biomassa. Cabe salientar que, na ocasião de estabelecimento das plantas de cobertura do verão de 2008, ocorreu uma chuva de granizo, o que possivelmente contribuiu para a redução do desenvolvimento e o acúmulo de biomassa destas plantas, principalmente as mais sensíveis, no caso dos tratamentos 2, 3, 4 e 6 (girassol, milho safrinha e mucuna).

No verão de 2009, a produção de massa seca das plantas de cobertura variou de 6.200 a 16.522 kg ha⁻¹. As maiores produções de massa seca foram constatadas nos tratamentos 1, 3, 7 e 8. Os tratamentos 2 e 6 foram os que expressaram menor produção de massa no período. Todos os tratamentos que manifestaram desempenho superior na produção de massa seca continham milho, que, conforme já discutido, é uma planta que apresenta desenvolvimento considerável comparado ao feijão e a mucuna. Vale salientar que o feijão, presente no tratamento 2 apresentou menor produção de massa, provavelmente em função desta cultura ter sofrido problemas fitossanitários, prejudicando seu desenvolvimento.

No inverno de 2010 constatou-se que as plantas de cobertura produziram de 841 a 5.615 kg ha⁻¹ de massa seca. Neste caso, os tratamentos 2 e 8 foram superiores quanto a produção de massa seca das plantas de cobertura, enquanto que o tratamento 1 foi o que exibiu menor produção de massa seca. Percebeu-se que os tratamentos que mostraram maior desempenho na produção de massa seca foram aqueles que continham consórcio de duas ou mais plantas de cobertura, no caso centeio/nabo e centeio/nabo/aveia. Quando as espécies são utilizadas consorciadas algumas vantagens são atribuídas a sua utilização, como o maior rendimento de matéria seca, pois estas apresentam desenvolvimentos diferenciados que incrementam a massa vegetal pela maior exploração da área, em relação ao cultivo isolado de cada espécie (VAUGHAN e EVANYOLO, 1998; AMADO et al., 2000).

É importante destacar que o tratamento 1, com menor produção de massa seca, no momento da coleta encontrava-se em pousio, no período entre os cultivos de milho e cebola em sucessão. Na ocasião foram coletadas as plantas espontâneas que contribuíam com a cobertura do solo. Com isto evidencia-se a importância da cobertura do solo, pois apenas com um cultivo anual, o solo permanece grande parte do tempo ocupado pelo crescimento das plantas espontâneas, produzindo menor quantidade de resíduos. A cobertura morta, resultante

exclusivamente dos restos culturais do cultivo comercial e de plantas espontâneas é, geralmente, insuficiente para a plena cobertura e proteção do solo, podendo comprometer a eficiência do sistema de plantio direto. Lopes et al. (1987) avaliando a relação entre produção de matéria seca de resíduo e a cobertura da superfície do solo, concluíram que são necessários, pelo menos, 7 Mg ha⁻¹ de matéria seca de palhada, uniformemente distribuída, para a cobertura plena da superfície do solo.

As plantas de cobertura avaliadas mostraram em média, desconsiderando os problemas climáticos, fitossanitários e pousio, satisfatória produção de matéria seca, variando de 3 a 16 Mg ha⁻¹ de massa seca, o que proporciona cobertura do solo acima de 50%.

No geral, as plantas de cobertura de verão têm maior produção de massa seca se comparadas às de inverno. Assim, a diferença estatística entre os tratamentos pode estar relacionada à variação na capacidade de crescimento das espécies, além das associações de plantas adotadas em cada época.

Tabela 5- Produção de massa seca (kg ha⁻¹) da parte aérea de plantas de cobertura de inverno e verão, para cultivo de cebola em manejo conservacionista do solo sob diferentes tratamentos envolvendo rotação de culturas nos anos de 2008, 2009 e 2010, em Ituporanga, SC.

Produção de massa seca	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
	----- (kg/ha) -----							
Plantas de cobertura Inverno 2008	-	5.104 A	3.532 A	3.133 A	4.037 A	4.548 A	3.992 A	4.648 A
Plantas de cobertura Verão 2008	3.085 A	870 B	1.019 B	1.152 B	2.849 A	943 B	1.185 B	1.093 B
Plantas de cobertura Verão 2009	16.286 A	6.200 D	16.522 A	7.417 CD	10.278 BC	6.828 D	10.524 B	16.082 A
Plantas de cobertura Inverno 2010	841 D	5.615 A	4.425 B	5.267 AB	2.978 C	4.768 AB	4.436 B	5.441 A

T1: milho e cebola (sucessão); T2: milho, aveia/nabo/centeio, cebola, girassol, aveia/nabo/ervilhaca, feijão, centeio/nabo, cebola; T3: milho, aveia/nabo, cebola, milho safrinha e ervilhaca, milho, centeio, cebola; T4: milho, aveia/nabo/centeio, cebola, mucuna, centeio, milho, nabo, cebola; T5: cebola, milheto, nabo, cebola, milheto, aveia/nabo/ervilhaca, milho, cevada, cebola; T6: cebola, feijão de porco, centeio, cebola, mucuna, centeio, cebola, mucuna, centeio, cebola; T7: cebola, milheto/feijão de porco, aveia, cebola, crotalária, centeio, milho, aveia, cebola; e T8: cebola, girassol, aveia/centeio, cebola, girassol/mucuna/milheto e ervilhaca, milho, aveia/nabo/centeio, cebola. Letras maiúsculas comparam os tratamentos em cada época pelo teste de t (P<0,05).

3.6 CONCLUSÕES

O plantio direto possui maior capacidade de acumular carbono orgânico e nitrogênio no solo em relação ao preparo convencional, pela influência da rotação de culturas e manejo do solo no aporte de C e N.

O plantio direto também apresentou maiores teores dos demais nutrientes avaliados (P, K, Ca, Mg) e a acidez em algumas camadas do solo com relação ao preparo convencional. Entretanto este resultado, além de ser influenciado pela ciclagem pelas espécies vegetais utilizadas, com variações quanto à capacidade das plantas de extração de nutrientes, pode variar conforme as adubações e correção do solo empregadas nas áreas estudadas.

Plantas de cobertura com alta produção de fitomassa, como milho e milheto são interessantes para o sistema de plantio direto de cebola. O consórcio de duas ou mais espécies como cobertura do solo também demonstram resultados superiores na produção de biomassa.

A redução na intensidade de revolvimento do solo e o uso de plantas de cobertura em sistemas de cultivo para produção de cebola são importantes estratégias de ciclagem e manutenção do aporte de nutrientes no solo. É possível incrementar os teores de C devido ao aporte de resíduos culturais, além de aumentar os teores de N pela inserção de leguminosas.

4 CAPÍTULO II – PLANTIO DIRETO DE CEBOLA COM ROTAÇÃO DE CULTURAS EM CAMBISSOLO HÚMICO DISTRÓFICO: ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

4.1 RESUMO

O uso conservacionista do solo pode alterar suas características físicas e produtivas, pois a ausência de preparo mecânico intensivo preserva os resíduos culturais e consequentemente as propriedades físicas do solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar atributos físicos do solo em sistemas de rotação de culturas para cebola em plantio direto. O estudo foi realizado em um Cambissolo Húmico Distrófico, em Ituporanga, SC. Oito tratamentos envolvendo sistemas de rotação de culturas para cebola foram testados. O solo foi analisado nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm para determinação da estabilidade de agregados do solo, macro e microporosidade, densidade de partículas, densidade do solo, porosidade total, grau de floculação, condutividade hidráulica saturada e resistência à penetração. O tipo de manejo afetou o diâmetro médio dos agregados, sendo menor no preparo convencional do que no plantio direto. A macroporosidade, a microporosidade e a porosidade total do solo apresentaram valores elevados no plantio direto, garantindo o mínimo necessário para o desenvolvimento das plantas. No sistema de plantio direto a densidade do solo manteve-se adequada para o crescimento radical. O grau de floculação das argilas não diferiu entre os tratamentos no sistema de plantio direto, já o solo com preparo convencional apresentou menor grau de floculação na primeira e na terceira camada. A condutividade hidráulica saturada foi maior no plantio direto com variação entre os tratamentos, sendo menor no preparo convencional na primeira e na terceira camada do solo. A resistência à penetração mostrou-se abaixo do nível crítico, com variação entre os tratamentos apenas na segunda camada do solo. No preparo convencional a resistência à penetração foi menor nas duas primeiras camadas comparado ao plantio direto. A manutenção de palha no solo traz vantagens ao sistema de produção, mostrando-se uma estratégia importante para conservação do solo e produtividade da cebola.

Palavras-chave: Manejo do solo. Estrutura do solo. Conservação do solo.

4.2 ABSTRACT

The conservation soil use can change its physical properties and productivity, since the reduced tillage conserves crop residues and improve soil physical properties. The aim of this study was to evaluate crop rotation systems for onion in no-tillage and its effects on soil physical properties. The study was conducted in a Humic Dystrophic Cambisol in Ituporanga, SC. Eight treatments with crop rotation systems were tested for onion. Soil samples were analyzed in the 0-5, 5-10 and 10-20 cm layers for determining the stability of soil aggregates, macro and microporosity, particle density, bulk density, porosity, degree of flocculation, saturated hydraulic conductivity and resistance to penetration. The management has affected the average diameter of the aggregates, what was lower in conventional tillage than in no tillage. The macroporosity, microporosity and total porosity of the soil showed higher values in the no till, ensuring the minimum necessary for plant growth. In no-tillage soil density was suitable for root growth. The degree of flocculation of clays did not differ between treatments in no-tillage, but the soil under conventional tillage showed a lower degree of flocculation in the first and third layer. The saturated hydraulic conductivity was greater in no tillage with variation between treatments, being lower in the first and third soil layer under conventional tillage. Resistance to penetration was below the critical level varying between treatments only in the second soil layer. In the conventional tillage, resistance was lower in the first two layers compared to no tillage. The maintenance of soil cover residues has advantages to the production system, being an important strategy for soil conservation and cultivation of onions.

Keywords: Soil management. Soil structure. Soil conservation.

4.3 INTRODUÇÃO

O solo é um meio poroso e heterogêneo, cujas propriedades podem se alterar com o tempo e conforme o sistema de manejo praticado. O sistema de preparo convencional normalmente adotado nas lavouras envolve aração e gradagens, com intensa mobilização. No entanto, seu principal efeito geralmente é refletido na perda da sua qualidade estrutural (SILVA e MIELNICZUK, 1997), o que ocasiona a degradação desse meio. Isso ocorre porque, na maioria das vezes, o preparo é executado com excessiva intensidade e com o solo em condições inadequadas de umidade.

De acordo com Dalla Rosa (1981), os preparos convencionais normalmente são aceleradores da degradação física do solo, devido à sua exposição à ação dos agentes erosivos. Sob essas condições, quando da incidência de chuvas intensas, pode haver selamento superficial, redução da porosidade total, principalmente da macroporosidade, diminuindo a taxa de infiltração de água no solo e, consequentemente, facilitando os processos erosivos.

A degradação das propriedades físicas do solo é um dos principais processos responsáveis pela perda da qualidade estrutural e aumento da erosão hídrica. Alterações de propriedades físicas do solo podem manifestar-se de várias maneiras, podendo ser permanentes ou temporárias e consequentemente influenciar o desenvolvimento das plantas. Assim, o solo submetido ao cultivo tende a perder a estrutura original, pelo fracionamento dos agregados em unidades menores, com efeitos na redução no volume de macroporos e aumentos no volume de microporos e na densidade do solo (CARPENEDO e MIELNICZUK, 1990).

Segundo Klein (2008), a densidade do solo é afetada por cultivos que alteram a estrutura e, por consequência, o arranjo e volume dos poros. Essas alterações afetam propriedades físicas e hídricas importantes, como a porosidade de aeração, a retenção de água no solo, a disponibilidade de água às plantas e a resistência do solo à penetração das raízes. É importante a presença de macroporos no solo para evitar a deficiência na aeração do sistema radicular das plantas.

A disponibilidade de água para as culturas é afetada pela estrutura do solo, por determinar o arranjo das partículas juntamente com o tipo e quantidade de argila e o teor de matéria orgânica do solo. O efeito benéfico do maior armazenamento de água no sistema de

plantio direto é evidente em anos com deficiência hídrica.

A infiltração e a retenção de água no solo são importantes para determinar a disponibilidade desse recurso às raízes. O processo de infiltração de água no solo depende de fatores que estão relacionados com determinadas características, como a porosidade, textura, umidade inicial, atividade biológica, cobertura vegetal, rugosidade superficial e declividade do terreno (CARDURO e DORFMAN, 1988). O fator mais importante na taxa de infiltração é a cobertura vegetal que está sobre o solo. Sendo reconhecido o efeito da rotação de culturas no aumento da infiltração de água e melhoria das condições físicas do solo é reconhecido.

O não revolvimento e a adição dos resíduos das culturas na superfície do solo em plantio direto desencadeiam inúmeros processos, como é o caso dos que levam ao aumento da estabilidade dos agregados e do estoque de matéria orgânica. Igualmente o maior teor de carbono orgânico determina maior estabilidade de agregados e esta, por sua vez, maior proteção física da matéria orgânica.

Por outro lado, no preparo convencional além de não ser priorizada a matéria orgânica, os macroporos são destruídos pelas operações de preparo, constatando-se que a estrutura do solo pode ser modificada pelas práticas agrícolas, podendo ser melhorada ou degradada. A produtividade do solo depende não somente de nutrientes, mas igualmente de uma estrutura adequada nas suas camadas. Esta estrutura se forma especialmente graças à formação de agregados estáveis, que resistam à ação das intempéries evitando a ocorrência de crostas superficiais, adensamentos subsuperficiais e perdas de solo por carregamento.

Os sistemas de manejo conservacionista favorecem as características físicas de solo por proporcionar um equilíbrio entre macro e microporosidade no solo, além de uma continuidade de poros, com variação de diâmetros e interconectados, o que é fator chave na qualidade do solo.

A manutenção e preservação de determinadas propriedades estruturais do solo são imprescindíveis, especialmente para culturas com sistema radicular sensível e de menor exploração das camadas do solo. A cultura da cebola enquadra-se nessa situação, já que seu sistema radicular tende a explorar os primeiros centímetros do solo, sendo esta camada fundamentalmente importante para o seu desenvolvimento, devendo ser conservada, com condições físico-químicas adequadas.

Em Santa Catarina, especialmente na região do alto vale do Itajaí, concentra-se o cultivo de cebola, em lavouras com predomínio de relevo acidentado e solos pouco profundos. A mobilização intensa dos solos agrícolas nessa região tem levado à sua degradação, especialmente por comprometer as características físicas do solo acelerando a erosão. Estes

solos encontram-se intensamente degradados pelo histórico de uso, muitas vezes com perda parcial ou completa da camada superficial, agravada pelo revolvimento intensivo do solo e deficiente adoção de práticas conservacionistas (AMADO et al., 1992). Em decorrência desse sistema de cultivo adotado, a redução da capacidade produtiva desses solos está associada à erosão hídrica.

Por isso, a busca por intervenções eficazes de uso do solo visando apontar alternativas para os sistemas de cultivo de cebola mostra-se de extrema importância para a região produtora.

Este estudo teve por objetivo avaliar a influência do sistema de plantio direto e rotação de culturas para a cebola, no que se refere ao comportamento dos atributos físicos de um Cambissolo Húmico. Esses aspectos poderão contribuir para superar limitações em termos de potencial produtivo da cultura da cebola, devido à inserção de sistemas de produção mais estáveis e eficientes em termos da recuperação e conservação do solo.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi implantado no início do ano de 2007, no município de Ituporanga, SC, na Estação Experimental da EPAGRI. O solo é um Cambissolo Húmico Distrófico, derivado de sedimentos permianos do Grupo Guatá. O clima é do tipo mesotérmico úmido com verões quentes, Cfa, segundo a classificação de Köppen (SANTA CATARINA, 1991).

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, compreendendo oito tratamentos, avaliados em três camadas e com cinco repetições. Os tratamentos abrangearam sistemas de cultivo para cultura da cebola, baseados em diferentes coberturas do solo utilizadas para produção de palha no sistema de plantio direto. Partiu-se, no inverno de 2007, da cobertura de aveia/ervilhaca/nabo e, posteriormente foram implantados os seguintes tratamentos: T1 - milho e cebola (sucessão); T2 - milho, aveia/nabo/centeio, cebola, girassol, aveia/nabo/ervilhaca, feijão, centeio/nabo, cebola; T3 - milho, aveia/nabo, cebola, milho safrinha e ervilhaca, milho, centeio, cebola; T4 - milho, aveia/nabo/centeio, cebola, mucuna, centeio, milho, nabo, cebola; T5 - cebola, milheto, nabo, cebola, milheto, aveia/nabo/ervilhaca, milho, cevada, cebola; T6 - cebola, feijão de porco, centeio, cebola,

mucuna, cebola, mucuna, centeio, cebola; T7 - cebola, milheto/feijão de porco, aveia, cebola, crotalária, centeio, milho, aveia, cebola; e T8 - cebola, girassol, aveia/centeio, cebola, girassol/mucuna/milheto e ervilhaca, milho, aveia/nabo/centeio, cebola (Tabela 1). Para escolha das espécies procurou-se usar plantas comerciais frequentemente usadas na região, com boa adaptação, com facilidade de encontrar sementes no mercado, de fácil manejo e com boa produção de matéria seca. Procurou-se conciliar a parte comercial com a parte técnica, através da inserção de tratamentos que possibilitessem a adoção pelos agricultores ao mesmo tempo em que pudessem elucidar as dúvidas recorrentes à aspectos físicos na adoção do sistema de plantio direto para a cultura da cebola.

Na mesma data da coleta de solo na área experimental, também foram realizadas coletas de amostras de solo em área de mata nativa e em área manejada sob sistema de preparo convencional cultivada com cebola, a fim de avaliar as situações conforme os sistemas de manejo. Ambas as áreas encontravam-se nas proximidades da área do experimento e sob mesmo relevo e condições de clima.

A análise granulométrica do solo das três áreas avaliadas (Plantio direto, Mata nativa, Preparo convencional) foi realizada para verificar a uniformidade e validar as comparações. Os teores de argila variaram de 323 a 359 g kg⁻¹, com textura franco argilo siltosa a franco argilo arenosa (Tabela 2).

A área de implantação do experimento vem sendo cultivada em sistema de produção conservacionista desde 1995, quando foi realizada a última correção do solo e elevou-se o pH para 6,0. Desde então, os cultivos manejados no local de instalação do experimento estão sob plantio direto, sem intervenções de preparo.

A dimensão das parcelas foi de 8,7 m² cada e constituídas de sete fileiras com 30 plantas de cebola. As amostras de solo foram coletadas em fevereiro de 2010, dois anos após a implantação do experimento, nas camadas 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Na ocasião da coleta de solo continham na área experimental as plantas verão 2009, conforme indicado na Tabela 1.

Para as análises físicas do solo foram coletadas amostras com estrutura alterada e com estrutura preservada. Para as amostras preservadas utilizaram-se cilindros metálicos (anéis volumétricos) de 4,8 cm de diâmetro e 2,5 cm de altura para as duas primeiras camadas e anéis de 5,0 cm de altura para a última camada, preparados em laboratório. Partindo-se da coleta de leivas, nas amostras com estrutura alterada realizou-se a avaliação da estabilidade de agregados. O estado de agregação das amostras de solo foi determinado por meio do peneiramento úmido, pelo método de Kemper e Chepil (1965), em amostras de agregados de 8,0 a 4,76 mm, calculando-se o diâmetro médio ponderado (DMP).

Para determinação da macro e microporosidade do solo, partiu-se das amostras coletadas com estrutura preservada, utilizando-se anéis volumétricos suportados com pano fino de tule, preso por borracha. Foi coletado um anel por profundidade em cada parcela. Estes anéis foram submetidos à saturação em bandeja de água e, posteriormente, à mesa de tensão de areia aos pontos equivalentes a 1 kPa (bioporos) 6 kPa (macroporosidade) e 10 kPa (capacidade de campo), e à câmaras de Richards com placas porosas, nas tensões de 30, 100 e 300 kPa. Com isto, obteve-se a umidade volumétrica retida em cada tensão aplicada e, posteriormente, após secagem dos anéis volumétricos com solo em estufa de 105 °C, durante 48 horas, calculou-se a microporosidade, a densidade do solo e a porosidade total. A microporosidade foi obtida pela diferença entre PT e macroporosidade (EMBRAPA, 1997), e a densidade do solo dividindo-se a massa de solo seco pelo volume conhecido da amostra.

Com base nas densidades do solo e de partículas, a porosidade total do solo (PT) foi calculada pela razão entre densidade do solo e densidade de partículas (Ds/Dp). A densidade de partículas foi determinada pelo método do balão volumétrico (EMBRAPA, 1997).

Para a determinação da argila total (AT) foi empregado o método da pipeta, utilizando dispersante químico (NaOH) e argila dispersa em água (AN). Foram obtidos os teores de argila dispersa em NaOH e em água, e calculado o grau de flocação (GF) da argila.

A condutividade hidráulica saturada foi determinada em laboratório, a partir das amostras com estrutura preservada. As amostras foram saturadas com água e submetidas a uma carga hidráulica em aparelho de condutividade hidráulica de carga variável. De acordo com a massa de água movimentada no anel volumétrico e altura do intervalo na régua, pelo software Ksat 2008 determinou-se a condutividade hidráulica saturada das amostras.

A resistência do solo foi determinada com uso do penetrógrafo “Falker penetroLOG”, até a profundidade de 20 cm, sendo realizadas leituras a cada 10 mm, com 10 leituras em cada parcela.

Com vistas à produtividade da cebola, foram avaliadas 26 plantas de cada uma das três fileiras centrais, em todas as safras com cultivo da cultura.

Os resultados nos oitos tratamentos foram submetidos à análise de variância, com comparação de médias pelo teste de t ($P<0,05$). Para área de mata nativa e preparo convencional calcularam-se intervalos de confiança a 5%.

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na média dos tratamentos nas três camadas, o DMP variou de 5,1 a 6,1 mm (Tabela 6 – Apêndice C). As diferenças entre alguns tratamentos nas três camadas do solo, possivelmente estejam relacionadas com a produção de material orgânico em cada tratamento, bem como devido ao desenvolvimento radicular das diferentes espécies rotacionadas. Plantas de cobertura que tem alta capacidade de acúmulo de fitomassa e sistema radicular abundante colaboram na agregação do solo. Destaca-se que as gramíneas são eficientes na formação e estabilização dos agregados, especialmente devido à alta densidade de raízes, às periódicas renovações do sistema radicular e à liberação de exsudatos no solo que estimulam a atividade microbiana (SILVA e MIELNICZUK, 1997).

O DMP nos sistemas conservacionistas e na mata nativa podem ser considerados elevado conforme Lal et al. (1999), provavelmente em virtude da consolidação natural, relacionada ao não revolvimento do solo e pela ação biológica dos microrganismos e raízes. A matéria orgânica é um agente de formação e estabilização dos agregados, sendo natural encontrar-se correlação positiva entre carbono orgânico e estabilidade de agregados (TISDALL e OADES, 1980; CASTRO FILHO et al., 1998).

No sistema convencional, a estabilidade de agregados foi inferior ao sistema de plantio direto em todas as camadas. Este resultado pode ser relacionado com o acúmulo de resíduos vegetais que permanecem por maior tempo no solo manejado no sistema de plantio direto. Também se observou que os valores de DMP foram menores na camada superficial, relacionado à desagregação do solo ocasionada pela sua mobilização excessiva. A maior estabilidade de agregados neste sistema foi na última camada (10-20 cm), provavelmente em função da formação de camada compactada (pé de grade/arado) em virtude do sistema de preparo.

Tabela 6- Diâmetro médio ponderado dos agregados, macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo em um Cambissolo Húmico Distrófico em função dos diferentes sistemas de manejo e rotação de culturas para cebola, comparativamente ao preparo convencional e solo sob mata nativa, em Ituporanga, SC.

Tratamentos	DMP	Macro	Micro	PT	Ds
	Camada 0-5 cm				
	(mm)	(m ³ m ⁻³)	(g cm ⁻³)	(g cm ⁻³)	(g cm ⁻³)
1	6,1 AB	0,17 AB	0,31 AB	0,48 AB	1,31 AB
2	6,0 AB	0,17 AB	0,34 A	0,51 AB	1,24 AB
3	5,9 B	0,14 B	0,33 A	0,46 B	1,33 A
4	6,2 A	0,20 A	0,34 A	0,53 A	1,19 B
5	6,2 A	0,18 AB	0,32 AB	0,50 AB	1,25 AB
6	6,1 AB	0,22 A	0,30 B	0,52 AB	1,2 AB
7	6,1 AB	0,18 AB	0,34 A	0,51 AB	1,23 AB
8	6,1 AB	0,18 AB	0,31 AB	0,49 AB	1,29 AB
Média	6,1	0,18	0,32	0,50	1,25
CV (%)	2	25	7	8	9
PC (m±IC95%)	3,3±0,4	0,18 ± 0,05	0,30 ± 0,05	0,49 ± 0,03	1,33 ± 0,07
MN (m±IC95%)	5,9 ± 0,4	0,27 ± 0,14	0,38 ± 0,07	0,65 ± 0,08	0,84 ± 0,22
Camada 5-10 cm					
1	6,0 AB	0,17 AB	0,29 A	0,46 ABC	1,37 AB
2	5,9 B	0,13 BC	0,32 A	0,45 BC	1,40 A
3	6,0 AB	0,13 BC	0,33 A	0,46 ABC	1,36 AB
4	6,2 A	0,15 ABC	0,31 A	0,47 ABC	1,34 AB
5	5,9 AB	0,11 C	0,32 A	0,44 C	1,41 A
6	5,9 B	0,20 A	0,29 A	0,49 A	1,30 B
7	6,0 AB	0,16 ABC	0,32 A	0,48 AB	1,33 AB
8	6,0 AB	0,15 BC	0,31 A	0,46 ABC	1,37 AB
Média	6,0	0,15	0,31	0,46	1,36
CV (%)	3	29	13	6	5
PC (m±IC95%)	4,2 ±1,0	0,15 ± 0,05	0,30 ± 0,04	0,45 ± 0,04	1,40 ± 0,10
MN (m±IC95%)	5,8 ± 0,6	0,25 ± 0,03	0,34 ± 0,02	0,59 ± 0,05	1,05 ± 0,13
Camada 10-20 cm					
1	6,0 A	0,13 A	0,33 B	0,47 A	1,35 A
2	5,6 BC	0,11 A	0,36 A	0,47 A	1,37 A
3	5,5 C	0,12 A	0,36 A	0,48 A	1,35 A
4	5,9 AB	0,13 A	0,35 AB	0,48 A	1,34 A
5	5,9 AB	0,11 A	0,36 AB	0,47 A	1,37 A
6	5,7 BC	0,14 A	0,35 AB	0,48 A	1,33 A
7	5,7 BC	0,11 A	0,36 AB	0,47 A	1,37 A
8	5,8 AB	0,13 A	0,36 AB	0,48 A	1,35 A
Média	5,8	0,12	0,35	0,47	1,35
CV (%)	4	22	6	5	4
PC (m±IC95%)	4,3±0,7	0,11 ± 0,04	0,33 ± 0,22	0,44 ± 0,02	1,45 ± 0,05
MN (m±IC95%)	5,9 ± 0,3	0,16 ± 0,05	0,36 ± 0,04	0,53 ± 0,06	1,20 ± 0,14

T1: milho e cebola (sucessão); T2: milho, aveia/nabo/centeio, cebola, girassol, aveia/nabo/ervilhaca, feijão, centeio/nabo, cebola; T3: milho, aveia/nabo, cebola, milho safrinha e ervilhaca, milho, centeio, cebola; T4: milho, aveia/nabo/centeio, cebola, mucuna, centeio, milho, nabo, cebola; T5: cebola, milheto, nabo, cebola, milheto, aveia/nabo/ervilhaca, milho, cevada, cebola; T6: cebola, feijão de porco, centeio, cebola, mucuna, centeio, cebola, mucuna, centeio, cebola; T7: cebola, milheto/feijão de porco, aveia, cebola, crotalária, centeio, milho, aveia, cebola; e T8: cebola, girassol, aveia/centeio, cebola, girassol/mucuna/milheto e ervilhaca, milho, aveia/nabo/centeio, cebola. PC: Preparo convencional e MN: Mata Nativa, com valores expressos pela média e intervalo de confiança (m±IC95%). Letras maiúsculas compararam os tratamentos na mesma profundidade pelo teste de t (P<0,05).

A macroporosidade variou entre os tratamentos, de 0,11 a 0,22 m^3m^{-3} , os quais podem ser considerados adequados aos fluxos de gases e água no solo, além de serem os espaços preferenciais para o crescimento das raízes. Na primeira camada, os tratamentos 4 e 6 tiveram maior quantidade de macroporos em relação ao tratamento 3. Na segunda camada, o tratamento 6 apresentou maior macroporosidade que o 5. Essas variações estão relacionadas supostamente à dinâmica de desenvolvimento das raízes e acúmulo de biomassa na diferentes camadas do solo, favorecido pela combinação adotada de espécies vegetais. A adição de matéria orgânica e o crescimento das raízes das plantas conferem maior estabilidade à estrutura e permitem o aumento dos espaços vazios, especialmente os macroporos, devido à movimentação das partículas do solo pelo crescimento radicular, bem como pela ação cimentante de substâncias orgânicas. A terceira camada do solo não apresentou diferença na quantidade de macroporos entre os tratamentos, provavelmente pela menor contribuição do material vegetal e menor atividade biológica nesta profundidade.

No sistema de pregar convencional, nas três camadas do solo, a macroporosidade não apresentou diferença do sistema de plantio direto. Provavelmente, este fato esteja relacionado com o pregar, pois nesta condição, inicialmente há uma pulverização do solo, o que ligeiramente aumenta sua porosidade (macro e microporos). Neste sentido deve-se registrar que a coleta do solo para análises foi realizada pouco tempo após o pregar da área, coincidindo com a fase de pegamento das mudas de cebola após o transplante. Cabe salientar que, após determinado tempo, tende a ocorrer um rearranjo das partículas do solo e, em determinadas ocasiões, o aumento da sua densidade.

A mata nativa teve maior macroporosidade do que o sistema de plantio direto na segunda camada. Isso possivelmente deve-se ao fato da mata nativa estar em equilíbrio e sem atividade antrópica que possa levar a alguma alteração.

Segundo Reynolds et al. (2002), o valor de 0,10 m^3m^{-3} é considerado como volume mínimo de macroporos para garantir adequada aeração do sistema radicular das plantas. Valores acima deste limite foram observados em todos os tratamentos do sistema de plantio direto, o que garante oxigenação radicular, bem como a capacidade de infiltração e redistribuição de água no perfil do solo. A macroporosidade é um dos melhores indicadores de qualidade do solo quando se avalia o manejo, pois é muito sensível às mudanças proporcionadas por práticas de manejo do solo.

A microporosidade variou de 0,29 e 0,36 m^3m^{-3} nas três camadas de solo, com variações entre os tratamentos. Na primeira camada os tratamentos 2, 3, 4 e 7 apresentaram maior microporosidade, enquanto o tratamento 6 teve a menor quantidade de microporos. A

segunda camada não manifestou diferença entre os tratamentos e, na terceira camada, os tratamentos 2 e 3 foram superiores na microporosidade em relação ao tratamento 1. Assim, essas variações na quantidade de microporos entre os tratamentos do sistema de plantio direto pode ser devidas às culturas utilizadas nas diferentes rotações, incluindo espécies com sistemas radiculares diferentes em tamanho e rusticidade, agindo sobre a estrutura do solo e pelos aportes diferenciados de matéria seca, como relatado por Stone e Silveira (2001) e Tormena et al. (1998).

O sistema de preparo convencional e a mata nativa não apresentaram diferenças na microporosidade do solo quando comparados ao sistema de plantio direto de cebola.

A porosidade total no sistema de plantio direto variou de 0,44 a 0,53 m^3m^{-3} . Na primeira camada do solo, o tratamento 4 foi superior ao 3 e, na segunda camada, o tratamento 6 teve maior porosidade total que o 5. A terceira camada não apresentou diferença significativa entre os tratamentos. Esses resultados encontrados para porosidade total do solo são concordantes com os valores de macroporosidade. Isso mostra que a relação macroporosidade/microporosidade define o comportamento da porosidade total do solo, ao mesmo tempo em que esta é definida pela agregação e densidade do solo.

A área sob sistema de cultivo convencional de cebola, com preparo do solo, não apresentou diferença significativa na primeira e segunda camada na porosidade total comparado ao sistema de plantio direto. Já na terceira camada, a porosidade total apresentou-se inferior no sistema com revolvimento do solo, o que evidencia compactação, principalmente na zona de ação dos implementos utilizados nas operações de preparo do solo (OLIVEIRA, 2002). Essas condições estruturais de solo devem ser evitadas, já que prejudicam o desenvolvimento radicular da planta.

A mata nativa teve maior porosidade total na primeira na segunda camada do solo, devido possivelmente a este sistema não sofrer impactos de cultivo e ter maior carbono orgânico total, raízes que senescem e agregação.

A densidade do solo variou de 1,19 a 1,41 g cm^{-3} (Tabela 6 – Apêndice C). Na primeira camada o tratamento 3 teve maior densidade. Na segunda camada, os tratamentos 2 e 5 foram superiores, já o tratamento 6 apresentou valor inferior de densidade. A terceira camada do solo não apresentou diferença. O comportamento desse atributo acompanha os resultados encontrados na variável porosidade total do solo, onde a sua diminuição reflete no aumento da densidade do solo. Entretanto pode-se considerar que os valores de densidade do solo encontrados nos tratamentos implantados no sistema de plantio direto foram adequados, pois o crescimento radicular em solos úmidos é geralmente limitado à densidades, variando de

1,45 Mg m⁻³ em solos argilosos a 1,85 Mg m⁻³ em areia franca (SILVA, 2010). A adição de resíduos culturais ou adubos orgânicos e a realização de rotação de culturas proporcionado nos sistemas de produção conservacionista, minimizam os efeitos do aumento da densidade do solo pelo cultivo.

A área sob preparo convencional teve densidade do solo maior que os tratamentos do sistema de plantio direto na terceira camada, não apresentando diferença na primeira e na segunda camada. Estes resultados demonstram que, nem sempre é evidenciado em sistemas de plantio direto certo adensamento na camada superficial do solo, pela sua consolidação natural em função do não revolvimento, conforme descrito por Silveira e Stone (2002) e Silveira Neto et al. (2006). A menor densidade nos sistema de plantio direto de cebola em relação ao preparo convencional pode ser relacionada com o aumento nos teores de carbono orgânico na primeira camada, que foi incrementado pela de rotação de culturas.

Na terceira camada, a maior densidade do solo encontrada no preparo convencional está relacionada à utilização contínua de maquinários, os quais compactam o solo abaixo da sua profundidade de trabalho. Em solos excessivamente densos, o crescimento radicular é inibido por diferentes razões, incluindo a resistência à penetração das raízes, a má aeração, redução do fluxo de água e nutrientes e acúmulo de gases tóxicos e exsudados radiculares.

A mata nativa apresentou menor densidade do solo nas três camadas avaliadas, em virtude das suas condições naturais, conforme já foi mencionado, por não sofrer intervenções para cultivo.

O grau de floculação da argila chegou a 0,67 m³m⁻³ (Tabela 7 – Apêndice C) no sistema de plantio direto, não apresentando diferença entre os tratamentos nas três camadas do solo. Já o sistema de preparo convencional apresentou menor grau de floculação, comparado ao plantio direto, na primeira e na terceira camada do solo. Na segunda camada não houve diferença significativa. O maior grau de floculação nos sistemas conservacionistas pode estar associado ao maior teor de carbono orgânico, pois a matéria orgânica tem maior número de cargas negativas, o que favorece a floculação das partículas do solo.

A mata nativa apresentou menor grau de floculação da argila nas três camadas do solo. Evidenciando um resultado contrário ao esperado, já que nestas áreas predominam altos teores de matéria orgânica, de H⁺, Al⁺³, e ainda nesta, em particular, um teor de argila natural considerável. Desta forma, pode ter ocorrido um desbalanço na relação entre elementos presentes neste solo, favorecendo a repulsão das partículas e uma menor floculação.

Tabela 7- Grau de floculação, condutividade hidráulica saturada e resistência à penetração do solo em um Cambissolo Húmico Distrófico em função dos diferentes sistemas de manejo e rotação de culturas para cebola, comparativamente ao preparo convencional e solo sob mata nativa, em Ituporanga, SC.

Tratamentos	GF	CH	RP
	Camada 0-5 cm		
	(m ³ m ⁻³)	(mm h ⁻¹)	(kPa)
1	0,66 A	61 B	492 A
2	0,66 A	106 AB	474 A
3	0,65 A	62 B	491 A
4	0,64 A	131 AB	446 A
5	0,65 A	129 AB	370 A
6	0,64 A	166 A	538 A
7	0,64 A	112 AB	449 A
8	0,64 A	86 AB	442 A
Média	0,65	106	463
CV (%)	3	73	35
PC (m±IC95%)	0,56 ± 0,2	45 ± 36	164 ± 115
MN (m±IC95%)	0,48 ± 0,7	253 ± 165	690 ± 230
Camada 5-10 cm			
1	0,64 A	122 A	955 A
2	0,64 A	43 AB	988 A
3	0,65 A	40 AB	861 AB
4	0,67 A	124 A	958 A
5	0,67 A	28 B	734 B
6	0,65 A	126 A	955 A
7	0,66 A	111 AB	824 AB
8	0,67 A	64 AB	912 AB
Média	0,65	82	898
CV (%)	4	86	18
PC (m±IC95%)	0,58 ± 0,10	51 ± 46	524 ± 307
MN (m±IC95%)	0,50 ± 0,3	246 ± 171	1377 ± 690
Camada 10-20 cm			
1	0,65 A	109 A	985 A
2	0,66 A	64 A	1089 A
3	0,65 A	140 A	968 A
4	0,65 A	116 A	1005 A
5	0,67 A	192 A	941 A
6	0,65 A	147 A	974 A
7	0,66 A	153 A	949 A
8	0,66 A	90 A	1037 A
Média	0,66	126	993
CV (%)	5	110	13
PC (m±IC95%)	0,62 ± 0,2	22 ± 28	950 ± 281
MN (m±IC95%)	0,48 ± 0,3	92 ± 103	2074 ± 418

T1: milho e cebola (sucessão); T2: milho, aveia/nabo/centeio, cebola, girassol, aveia/nabo/ervilhaca, feijão, centeio/nabo, cebola; T3: milho, aveia/nabo, cebola, milho safrinha e ervilhaca, milho, centeio, cebola; T4: milho, aveia/nabo/centeio, cebola, mucuna, centeio, milho, nabo, cebola; T5: cebola, milheto, nabo, cebola, milheto, aveia/nabo/ervilhaca, milho, cevada, cebola; T6: cebola, feijão de porco, centeio, cebola, mucuna, centeio, cebola, mucuna, centeio, cebola; T7: cebola, milheto/feijão de porco, aveia, cebola, crotalária, centeio, milho, aveia, cebola; e T8: cebola, girassol, aveia/centeio, cebola, girassol/mucuna/milheto e ervilhaca, milho, aveia/nabo/centeio, cebola. PC: Preparo convencional e MN: Mata Nativa, com valores expressos pela média e intervalo de confiança (m±IC95%). Letras maiúsculas comparam os tratamentos na mesma profundidade pelo teste de t (P<0,05).

Os tratamentos do sistema de plantio direto exibiram variações na condutividade hidráulica saturada (Tabela 7 – Apêndice C), sendo que, na primeira camada, o tratamento 6 teve um maior condutividade que os tratamentos 1 e 3. Na segunda camada, os tratamentos 1, 4 e 6 foram maiores que o 5, enquanto que na terceira camada não houve diferença entre os tratamentos. Pode-se explicar a variação de condutividade hidráulica entre os tratamentos pela distinção de plantas de cobertura e exploração do solo pelas raízes, já que a condutividade hidráulica saturada está relacionada à continuidade dos poros devido aos canais formados pelo apodrecimento de raízes e pela ação biológica.

O preparo convencional teve menor condutividade hidráulica que o plantio direto na primeira e na terceira camada do solo. Provavelmente devido ao contínuo revolvimento do solo a uma mesma profundidade, provocando descontinuidade dos poros pela presença de uma camada compactada abaixo da camada mobilizada pelo maquinário, e na superfície do solo pela desagregação e selamento das partículas pela ação da água. Na segunda camada do solo, o sistema de preparo convencional não diferiu do plantio direto, possivelmente pelo fato deste último apresentar maior quantidade de matéria orgânica e maior atividade biológica, que auxiliam na formação de macroporos.

A mata nativa demonstrou maior condutividade hidráulica saturada nas duas primeiras camadas do solo, possivelmente por suas características físico-biológicas adequadas, que favorecem o movimento da água. A terceira camada na mata nativa não diferiu do sistema de plantio direto.

A resistência do solo nos tratamentos do plantio direto variou entre 338 e 1089 kPa nas três camadas de solo (Tabela 7 – Apêndice C), sendo que apenas na segunda camada os tratamentos diferiram entre si, onde 1, 2, 4 e 6 demonstraram maior resistência à penetração que o 5. De acordo com Taylor e Gardner (1963), Taylor et al. (1966) e Nesmith (1987), o valor de 2000 kPa é crítico para o desenvolvimento das raízes das plantas, portanto, os tratamentos implantados no sistema de cultivo conservacionista não comprometeram o desenvolvimento das plantas.

O sistema de preparo convencional teve menor resistência à penetração nas duas primeiras camadas e não diferiu do plantio direto na terceira camada do solo, explicado pelo intenso revolvimento do solo na superfície, o qual diminuiu a densidade do solo e aumentou o volume de poros na superfície.

A resistência à penetração na mata nativa foi inferior na terceira camada do solo, não diferindo nas demais camadas.

A resistência do solo ao penetrógrafo deve ser normalmente relacionada à condição de umidade durante a sua determinação no solo a campo. Na Tabela 8 é demonstrada a umidade do solo nos diferentes sistemas de manejo e profundidades no momento da leitura da resistência a penetração. O plantio direto e a mata nativa tiveram umidade superior comparado ao preparo convencional, o que favorece a redução da resistência à penetração.

Tabela 8- Umidade gravimétrica do solo em avaliação de resistência à penetração em Cambissolo Húmico Distrófico em função dos diferentes sistemas de manejo e rotação de culturas para cebola, em Ituporanga, SC.

Tratamento	Camada	UG	Camada	UG	Camada	UG
1		0,30		0,29		0,29
2		0,29		0,28		0,28
3		0,34		0,29		0,30
4		0,38		0,29		0,28
5	0-5 cm	0,37	5-10 cm	0,29	10-20 cm	0,30
6		0,31		0,29		0,29
7		0,34		0,30		0,29
8		0,32		0,27		0,27
MN		0,38		0,31		0,31
PC		0,09		0,22		0,23

T1: milho e cebola (sucessão); T2: milho, aveia/nabo/centeio, cebola, girassol, aveia/nabo/ervilhaca, feijão, centeio/nabo, cebola; T3: milho, aveia/nabo, cebola, milho safrinha e ervilhaca, milho, centeio, cebola; T4: milho, aveia/nabo/centeio, cebola, mucuna, centeio, milho, nabo, cebola; T5: cebola, milheto, nabo, cebola, milheto, aveia/nabo/ervilhaca, milho, cevada, cebola; T6: cebola, feijão de porco, centeio, cebola, mucuna, centeio, cebola, mucuna, centeio, cebola; T7: cebola, milheto/feijão de porco, aveia, cebola, crotalária, centeio, milho, aveia, cebola; e T8: cebola, girassol, aveia/centeio, cebola, girassol/mucuna/milheto e ervilhaca, milho, aveia/nabo/centeio, cebola. PC: Preparo convencional e MN: Mata Nativa.

A produtividade da cebola não teve alterações significativas entre os tratamentos analisados na safra de 2007, variando de 30,3 a 32,0 t ha⁻¹ de bulbos (Tabela 9). Na safra 2008, a produtividade de cebola variou de 14,2 t ha⁻¹ a 28,8 t ha⁻¹. Supõe-se que a queda de produtividade foi decorrente dos aspectos climáticos neste período, com altas precipitações e altas temperaturas. Além disso, o tratamento 1 (sucessão milho-cebola) apresentou menor produtividade, quando comparado com os demais, evidenciando a importância da rotação de culturas. No ano de 2009, a produtividade da cebola nos dois tratamentos (T1 e T6) foi de 22,7 a 18,2 t ha⁻¹ respectivamente, com diferença entre os tratamentos e, novamente, o tratamento 1 apresentou menor produtividade.

A produtividade de cebola no ano de 2010 evidenciou os maiores rendimentos de todo o período da experimentação, variando entre 37,3 a 44,2 t ha⁻¹. Nesta safra, os tratamentos 2 e 4 tiveram maior produtividade de bulbos enquanto que os tratamentos 1, 6 e 7 apresentaram os menores valores. Este efeito positivo na produtividade dos tratamentos 2 e 4 pode estar

relacionado com a inclusão do nabo forrageiro na rotação de culturas por duas vezes, inclusive antecedendo a cultura da cebola na safra de 2010. Este comportamento, provavelmente possa ser justificado pelos estudos realizados por Paulus et al. (2000), Rossato (2004), Fioreze (2005), que demonstram o efeito do uso do nabo forrageiro solteiro ou consorciado, uma vez que apresenta crescimento vigoroso, sistema radicular pivotante e alta capacidade de reciclagem de nutrientes do solo, principalmente de fósforo e nitrogênio, sendo importantes nutrientes para o desenvolvimento da cultura da cebola.

Segundo Brasi et al. (2008), os efeitos benéficos do nabo forrageiro são visíveis nas culturas seguintes. De acordo com o autor, a cultura do milho implantada após o uso deste adubo verde produz uma tonelada a mais de grãos por hectare.

Tabela 9- Produtividade (kg ha^{-1}) de cebola sob manejo conservacionista do solo com diferentes tratamentos envolvendo rotação de culturas, na safra 2007, 2008 e 2009, em Ituporanga, SC.

Produtividade Cebola	Safra 2007		Safra 2008		Safra 2009		Safra 2010	
	----- (kg ha^{-1}) -----							
T1	-		14220	C	18163	B	38558	C
T2	-		25930	AB	-		43549	A
T3	-		25920	AB	-		39111	BC
T4	-		27980	A	-		44190	A
T5	31649	A	28400	A	-		40048	BC
T6	31945	A	28750	A	22721	A	39088	C
T7	30355	A	26068	AB	-		37303	C
T8	32028	A	22990	B	-		42564	AB

T1: milho e cebola (sucessão); T2: milho, aveia/nabo/centeio, cebola, girassol, aveia/nabo/ervilhaca, feijão, centeio/nabo, cebola; T3: milho, aveia/nabo, cebola, milho safrinha e ervilhaca, milho, centeio, cebola; T4: milho, aveia/nabo/centeio, cebola, mucuna, centeio, milho, nabo, cebola; T5: cebola, milheto, nabo, cebola, milheto, aveia/nabo/ervilhaca, milho, cevada, cebola; T6: cebola, feijão de porco, centeio, cebola, mucuna, centeio, cebola, mucuna, centeio, cebola; T7: cebola, milheto/feijão de porco, aveia, cebola, crotalária, centeio, milho, aveia, cebola; e T8: cebola, girassol, aveia/centeio, cebola, girassol/mucuna/milheto e ervilhaca, milho, aveia/nabo/centeio, cebola. Letras maiúsculas compararam os tratamentos em cada safra pelo teste de t ($P<0,05$).

4.6 CONCLUSÕES

O plantio direto, com rotação de culturas para o cultivo de cebola possui maior estabilidade de agregados, grau de floculação e condutividade hidráulica comparado ao preparo convencional para o cultivo de cebola. Os demais atributos físicos mostraram valores favoráveis ao crescimento radicular e desenvolvimento das plantas.

O monocultivo evidenciou efeito negativo sobre a produtividade da cultura da cebola, pois a sucessão milho e cebola teve menor produtividade comparada aos demais tratamentos.

A redução na intensidade de revolvimento do solo e o uso de plantas de cobertura em sistemas de cultivo foram importantes estratégias para conservação do solo e produtividade da cultura da cebola. Especificamente, em relação à física do solo, estes sistemas resultaram numa melhoria da estabilidade de agregados, maior resistência a compactação, espaço poroso adequado para infiltração e retenção de água e para a difusão de oxigênio às raízes das culturas.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Informações relevantes foram levantadas com a execução desta pesquisa, no que se refere à resposta aos desafios dos agricultores da região que, a médio ou curto prazo, deverão instituir conhecimento de sistemas de manejo que resultem em menores riscos para qualidade e conservação do solo.

Os resultados deste estudo demonstram que nas condições em que foi realizado este experimento, a utilização do plantio direto associado ao uso de rotação de culturas, evidencia o potencial para recuperação dos teores de matéria orgânica de solos degradados e, consequente contribuição a sua conservação. Enquanto que as práticas de preparo do solo - lavração e a gradagem diminuem os estoques de C orgânico e N total do solo, bem como a ciclagem eficiente de nutrientes.

Associadas ao sistema de plantio direto, as características físicas e químicas podem ser melhoradas com a utilização de rotação de culturas, mostrando-se como alternativa de reabilitação dos solos e contribuindo na supressão de plantas espontâneas e no aumento de produtividade da cebola, favorecendo da mesma forma, a sustentabilidade da atividade agrícola.

Por outro lado, novas informações poderão ser buscadas com a continuidade deste trabalho a campo, pois a utilização de experimentos de longa duração permite avaliar a influência do sistema de manejo sobre a dinâmica da MO e, por consequência, sobre a qualidade do solo no decorrer do tempo, servindo como uma ferramenta de suporte para a tomada de decisão pelos agricultores e pesquisadores. Ademais, a recuperação da qualidade do solo exercendo suas funções em áreas comprometidas, como nas lavouras de Ituporanga, constitui-se num dos principais objetivos da pesquisa em manejo de solos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AITA, C.; BASSO, C. J.; CERETTA, C. A. Plantas de cobertura do solo como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 157-165, 2001.

ALCÂNTARA, F. A.; FURTINI NETO, A. E.; PAULA, M. B. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo Vermelho Escuro degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, p. 277-288, 2000.

ALVES, M. C.; SUZUKI, L. E. A. S. Influência de diferentes sistemas de manejo do solo na recuperação de suas propriedades físicas. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 26, p. 27-34, 2004.

AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendações de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p. 241-248, 2002.

AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; FERNANDES, S. B. V. Leguminosas e adubação mineral como fontes de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p. 179-189, 2000.

AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; FERNANDES, S. B. V.; BAYER, C. Culturas de cobertura, acúmulo de nitrogênio total no solo e produtividade de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 23: 679-686, 1999.

AMADO, T. J. C.; SILVA, E.; TEIXEIRA, L. A. J. Cultivo mínimo de cebola: máquina para o preparo do solo nas pequenas propriedades. **Agropecuária Catarinense**, v. 5, n. 1, p. 25-26, 1992.

AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; TAMISO, L. G. Adubação verde em cultivo orgânico de hortaliças. **Revista de Agricultura**, v. 83, n. 1, p. 1-7, 2008.

ANDRADE, A. G.; FREITAS, P. L.; LANDRES, J. Aspectos gerais do manejo e conservação do solo e da água e as mudanças ambientais. In: PRADO, R. B.; TURETTA, A. P. D.; ANDRADE, A. G. **Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, p. 25-40, 2010.

ANDREOLA, F.; COSTA, L. M.; OLSZEVSKI, N.; JUCKSCH, I. A cobertura vegetal de inverno e a adubação orgânica e, ou, mineral influenciando a sucessão feijão/milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.867-874, 2000.

ANGHINONI, I. Adubação fosfatada e potássica em plantio direto. In: FONTOURA, S. M. V.; BAYER, C. (Org.). **Manejo e fertilidade de solos em plantio direto**, 2. ed., Guarapuava: Fundação de Pesquisa Agropecuária, p. 91-109, 2009a.

ANGHINONI, I. Amostragem do solo, dinâmica da acidez e calagem em plantio direto. In: FONTOURA, S. M. V.; BAYER, C. (Org.). **Manejo e fertilidade de solos em plantio direto**, 2. ed., Guarapuava: Fundação de Pesquisa Agropecuária, p. 31-59, 2009b.

BAYER, C. Características químicas do solo, nutrição e rendimento do milho afetados por métodos de preparo e sistemas de culturas. Porto Alegre, 1992. 172 p. **Dissertação** (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

BAYER, C.; BERTOL, I. Características químicas de um Cambissolo Húmico afetadas por sistemas de preparo, com ênfase à matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 687-694, 1999.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Sistemas de manejo do solo e seus efeitos sobre o rendimento do milho. **Revista Ciência Rural**, v. 28, p. 23-28, 1998.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; AMADO, T. J.C.; MARTIN-NETO, L.; FERNANDES, S. V. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 54, p. 101-109, 2000.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; SANTOS, S.R. Física do solo, diagnóstico e manejo da compactação em plantio direto. In: FONTOURA, S. M. V.; BAYER, C. **Manejo e fertilidade de solos em plantio direto**. 2. ed. Guarapuava: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, p. 175-199, 2009.

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

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 3. ed. São Paulo: Ícone, 1990. 355 p.

BLEVINS, R. L.; THOMAS, G. W.; SMITH, M.S.; FRYE, W. W.; CORNELIUS, P. L. Changes in soils properties after 10 years continuous non-tillage and conventionally tilled corn. **Soil and Tillage Research**, v. 3, p. 135-146, 1983.

BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S. Quantificação da fixação biológica de nitrogênio associada a plantas utilizando o isótopo 15N. In: HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R. S.

(Ed.). **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola.** Brasília: Embrapa – CNPAF, p. 471-494, 1994.

BOEING, G. Fatores que afetam a qualidade da cebola na agricultura familiar catarinense. Florianópolis: Instituto Cepa/SC, 2002. 80 p.

BORKERT, C. M.; GAUDÊNCIO, C. A.; PEREIRA, J. E. Nutrientes minerais na biomassa da parte aérea em culturas de cobertura de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, p. 143-153, 2003.

BORTOLINI, C. G.; SILVA, P. R.; ARGENTA, G. Sistemas consorciados de aveia preta e ervilhaca comum como cobertura de solo e seus efeitos na cultura do milho em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 897-903, 2000.

BRASI, L. A. C. S.; DENUCCI, S.; PORTAS, A. A. **Nabo - adubo verde, forragem e bioenergia.** 2008. Artigo em Hypertexto.
Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2008_2/nabo/index.htm>. Acesso em: 13/1/2011.

CAAMAL-MALDONADO, J. A.; JIMENEZ OSORNIO, J. J.; TORRES BARRAGAN, A.; ANAYA, A. L. The use of allelopathic legume cover and mulch species for weed control in cropping systems. **Agronomy Journal**, v. 93, p. 27-36, 2001.

CALEGARI, A.; COSTA, A. Sistemas conservacionistas de uso do solo. In: PRADO, R. B.; TURETTA, A. P. D.; ANDRADE, A. G. **Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, p.279-307, 2010.

CALEGARI, A.; HARGROVE, W. L.; RHEINHEIMER, D. S.; RALISCH, R.; TESSIER, D.; TOURDONNET, S.; GUIMARÃES, M. F. Impact of long-term no-tillage and cropping system management on soil organic carbon in na oxisol: a model for sustainability. **Agronomy Journal**, v. 100, p. 1013-1019, 2008.

CAMPO NEWS. **Chuva e frio afetam a qualidade da cebola em SC.** Publicado em: 25 mar. 2009. Disponível em: <<http://www.noticiasagricolas.com.br/noticias/hortifruti/42160>>. Acesso em: 22 fev. 2011

CARTER, M. R.; ANGERS, D. A.; KUNELIUS, H. T. Soil structure and organic matter fractions under perennial grasses. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, p. 1194-1199, 1994.

CARDURO, F. A.; DORFMAN, R. **Manual de ensaios de laboratório e campo para irrigação e drenagem.** Brasília: PRONI/MA, 1988. 216 p.

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

CASTRO, C. M.; ALVES, B. J. R.; ALMEIDA, D. L. de; RIBEIRO, R. de L. D. Adubação verde como fonte de nitrogênio para a cultura de berinjela em sistema orgânico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 8, p. 779- 785, 2004.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo Distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.22, p. 527-538, 1998.

CERRI, C.C.; CERRI, C. E. P. Agricultura e aquecimento global. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 40-44, 2007.

CINTRA, F. L. O.; MIELNICZUK, J.; SCOPEL, I. Caracterização do impedimento mecânico em um Latossolo Roxo do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 7, p. 323-327, 1983.

CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; FONTOURA, S. M. V.; ALBUQUERQUE, J. A.; WOBETO, C. Acidificação de um Latossolo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 1055-1064, 2002.

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

CQFS, COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10.ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Núcleo Regional Sul. 2004. 400p.

DALAL, R. C.; MAYER, R. J. Long-term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in southern Queensland. I. Overall changes in soil properties and trends in winter cereal yields. **Australian Journal of Soil Research**, v. 24, p. 265- 279, 1986.

DALLA ROSA, A. Práticas mecânicas e culturais na recuperação de características físicas de solos degradados pelo cultivo no solo Santo Ângelo (Latossolo Roxo Distrófico). Porto Alegre, 1981. 138 p. **Dissertação** (Mestrado) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

DE MARIA, I. C.; NNABUDE, P. C.; CASTRO, O. M. de. Longterm tillage and crop rotation effects on soil chemical properties of a Rhodic Ferralsol in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v.51, n.1, p.71-79, 1999.

DERPSCH, R.; ROTH, C. H.; SIDIRAS, N.; KOPKE, U. **Controle da erosão no Paraná, Brasil**: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. Londrina, IAPAR/GTZ, 1991. 272 p. (IAPAR/GTZ, Sonderpublikation der GTZ, N245).

DERPSCH, R.; SIDIRAS, N.; HEINZMANN, F. X. Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 20, p. 761-773, 1985.

DOGLIOTTI, S.; ROSSING, W. A. H.; ITTERSUM, M. K. Van. Systematic design and evaluation of crop rotations enhancing soil conservation, soil fertility and farm income: a case study for vegetable farms in South Uruguay. **Agricultural Systems**, v. 80, p. 277-302, 2004.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual e métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Solos do Estado de Santa Catarina**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. 726 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 46)

ERASMO, E. A. L.; AZEVEDO, W. R.; SARMENTO, R. A.; CUNHA, A. M.; GARCIA, S. L. R. Potencial de espécies utilizadas como adubo verde no manejo integrado de plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 22, p. 337-342, 2004.

FAYAD, J. A.; MONDARDO, M. **Sistema de plantio direto de hortaliças**: O cultivo do tomateiro no Vale do Rio do Peixe, SC. Florianópolis: EPAGRI, 2004. 53p. (Boletim Didático, 57)

FAYAD, J. A.; MONDARDO, M.; SGROTT, E. Z.; KURTZ, C. **Avaliação da época e da dose de nitrogênio no rendimento da cebola, cv. Crioula Alto Vale, cultivada no sistema de plantio direto de hortaliças**. Ituporanga: EPAGRI, 2007. 5 p. (Boletim Técnico, 6)

FENNIMORE, S.A.; JACKSON, L.E. Organic amendment and tillage effects on vegetable field weed emergence and seedbanks, **Weed Technology**, v. 17, p. 42-50, 2003.

FIOREZE, C. Transição agroecológica em sistemas de produção de batata. 2005. 104 f. **Dissertação** (Mestrado em Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

FONTANETTI, A.; CARVALHO, G. J.; MORAIS, A. R. Adubação verde no controle de plantas invasoras nas culturas de alface-americana e de repolho. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 28, p. 967-973, 2004.

FONTANETTO, H.; KELLER, O. Efecto de diferentes labranzas sobre propiedades edáficas de un argiudol. In: DÍAZ ROSSELLO, R. **Siembra directa en el Cono Sur**. Montevideo, Uruguay: PROCISUR, p. 275-287, 2001.

FRANCHINI, J. C.; MALAVOLTA, E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 533-542, 1999.

HEINRICHS, R.; AITA, C.; AMADO, T. J. C.; FANCELLI, A. L. Cultivo consorciado de aveia e ervilhaca: relação C/N da fitomassa e produtividade de milho em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 331-340, 2001.

HERRERO, E. V.; MITCHELL, J. P.; LANINI, W. T. Use of cover crop mulches in a no-till furrow-irrigated processing tomato production system. **HortTechnology**, v. 11, p. 43-48, 2001.

JACKSON, L. E. Fates and losses of nitrogen from a nitrogen-15-labeled cover crop in an intensively managed vegetable system. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, p. 1404-1412, 2000.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregation. In: BLACK, C. A. **Methods of soil analysis**. Madison, American Society Agronomy, p. 499-510, 1965. (Agronomy Monograph, 9)

KLEIN, W. A. **Física do solo**. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2008. 212p.

LAL, R.; FOLLET, R. F.; KIMBLE, J.; COLE, C. V. Managing U.S. cropland to sequester carbon in soil. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 54, p. 374-381, 1999.

LAL, R. **Role of mulching techniques in tropical soil and water management**. Ibadan, International Institute of Tropical Agriculture, 1975. 37 p. (Technical Bulletin, 1)

LOPES, P. R. C.; COGO, N. P.; LEVIEN, R. Eficácia relativa de tipo e quantidade de resíduos culturais espalhados uniformemente sobre o solo na redução da erosão hídrica. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 11, n. 1, p. 71-75, 1987.

MALAGODI, E. A.; QUIRINO, E. G.; SABOURIN, E. Agricultura familiar e consciência ambiental. In: **X World Congress of Rural Sociology e XXVIII Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural**, Rio de Janeiro: Mundo Virtual, p. 257–267, 2000.

MATSON, P. A.; PARTON, W. J.; POWER, A. G.; SWIFT, M. J. Agricultural intensification and ecosystem properties. **Science**, v. 277, p. 504 -509, 1997.

MELLO, W. M. P.; MIELNICZUK, J. Influência da estrutura do solo na distribuição e na morfologia do sistema radicular do milho sobre métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 135-143, 1999.

MONEGAT, C. **Plantas de cobertura do solo**: características e manejo em pequenas propriedades. Chapecó: Ed. do autor, 1991. 337 p.

NESMITH, D. S. Soil compaction in double cropped wheat and soybean on Ultisol. **Soil Science Society of America Journal**, v. 51, p. 183-186, 1987.

OLIVEIRA, G. C. Alterações estruturais e comportamento compressivo de um latossolo submetido a diferentes sistemas de manejo por 20 anos no cerrado. Lavras, 2002. 78 p. **Tese** (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras.

PAULA, M. B.; PADUA, J. G.; FONTES, P. C. R.; BERTONI, J. C. Produtividade, qualidade de bulbos de cebola e teores de nutrientes na planta e no solo influenciado por fontes de potássio e doses de gesso. **Revista Ceres**, v. 49, p. 231-244, 2002.

PAULUS, G.; MÜLLER, A. M.; BARCELLOS, L. A. R. **Agroecologia aplicada**: práticas e métodos para uma agricultura de base ecológica. Porto Alegre: EMATER/RS, 2000. 86 p.

PEIXOTO, R. T. G. Manejo orgânico da fertilidade do solo no sistema de plantio direto. In: PEIXOTO, R. T. G.; AHRENS, D.C.; SAMAHY, M. J. **Plantio direto**: o caminho para uma agricultura sustentável. Ponta Grossa: IAPAR, p. 186-205, 1997.

PERIN, A.; SANTOS, R.H.S.; URQUIAGA, S. Efeito residual da adubação verde no rendimento de brócolos (*Brassica oleracea* L. var. *Italica*) cultivado em sucessão ao milho (*Zea mays* L.). **Ciência Rural**, v. 34, p. 1739-1745, 2004.

PINHEIRO, E. F.M.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. Aggregate distribution and soil organic matter under different tillage systems for vegetable crops in a Red Latosol from Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 77, p. 79-84, 2004.

REICOSKY, D.C.; LINDSTROM, M. J. Fall tillage method: effect on short-term carbon dioxide flux from soil. **Agronomy Journal**, v. 85, p. 1237-1243, 1993.

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

RHEINHEIMER, D. S.; KAMINSKI, J.; LUPATINI, G. C.; SANTOS, E. J. S. Modificações em atributos químicos de solo arenoso sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 713-721, 1998.

ROSCOE, R; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. 304p.

ROSSATO, R. R. Potencial de ciclagem de nitrogênio e potássio pelo nabo forrageiro intercalar ao cultivo do milho e trigo sob plantio direto. 2004. 130 f. **Dissertação** (Mestrado em Ciência do Solo) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

SÁ, J. C. de M. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Trigo (Passo Fundo, RS). **Plantio direto no Brasil**. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT / FUNDACEP-FECOTRIGO / Fundação ABC, p.37-60, 1993.

SALET, R. L. Dinâmica de íons na solução de um solo submetido ao sistema plantio direto. 1994. 111f. **Dissertação** (Mestrado em Solos) - Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um Podzolico Vermelho-escuro de Eldorado do Sul (RS). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 19, p. 313-319, 1995.

SANTA CATARINA. Secretaria de Estado de Coordenação Geral e Planejamento. **Atlas escolar de Santa Catarina**. Rio de Janeiro: Aerofoto Cruzeiro, 1991. 96p.

SCHLINDWEIN, J. A.; ANGHINONI, I. Variabilidade vertical de fósforo e potássio disponíveis e profundidade de amostragem do solo no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.30, n.4, p.611-617, 2000.

SILVA, A. P. da. Física do Solo. In: **Apostila da disciplina de Física do Solo**. Piracicaba: USP/ESALQ/Departamento de Ciência do Solo. Material extraído do livro: The Nature and Properties of Soils Nyle. C. BRADY, RAY R. WEIL. 13^a Ed. Editora Prentice Hall, 2010.

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

SILVEIRA, P. M. da; STONE, L. F. Teores de nutrientes e de matéria orgânica afetados pela rotação de culturas e sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, n.2, p.387-394, 2001.

SILVEIRA, P. M. da; STONE, L. F. Profundidade de amostragem do solo sob plantio direto para avaliação de características químicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 1, p. 157-162, 2002.

SILVEIRA NETO, A. N. da; SILVEIRA, P. M. da; STONE, L. F.; OLIVEIRA, L. F. C. de. Efeitos de manejo e rotação de culturas em atributos físicos do solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 36, p. 29- 35, 2006.

SOBRAL FILHO, F. R. M.; MADEIRA NETO, J. S.; FREITAS, P. L. de; SOUZA, R. L. P. de. **Práticas de conservação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1980. 88p. (EMBRAPA-SNLCS. Miscelânea, 3)

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. da. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 2, p. 395-401, 2001.

TAGLIARI, P. S. Tomate em plantio direto: menos agrotóxico, mais renda e mais saúde. **Agropecuária Catarinense**, v. 16, n. 3, p. 24-29, 2003.

TAYLOR, H. M.; GARDNER, H. R. Penetration of cotton seedlings taproots as influenced by bulk density, moisture content and strength soil. **Soil Science**, v. 96, p. 153-156, 1963.

TAYLOR, H. M.; ROBERTSON, G. M.; PARKER, J. J. Soil strength root penetration relations for medium to coarse textured soil materials. **Soil Science**, v. 102, p. 18-22, 1966.

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

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. The management of ryegrass to stabilize aggregates of a red-brown earth. **Australian Journal of Soil Research**, v.18, p.415-422, 1980.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G.; SÁ, J. C. M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 2, p. 301-309, 1998.

TREHAN, S. P.; SHARMA, R. C.; ROY, S. K. Recycling of crop residues for efficient and optimum use of mineral fertilizers in potato-onion-groundnut rotation. **Advances in Horticultural Science**, v. 22, p. 191-196, 2008.

VAUGHAN, J. D.; EVANYLO, G. K. Corn response to cover crop species, spring desiccation time, and residue management. **Agronomy Journal**, v. 90, p. 536-544, 1998.

VEZZANI, F. M. Qualidade do sistema solo na produção agrícola. 2001. 184 p. **Tese** (Doutorado em Ciência do Solo) – programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

VIEIRA, M. J. Embasamento técnico do subprograma de manejo e conservação dos solo-Paraná Rural. In: PRANÁ. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento. **Manual técnico do subprograma de manejo e conservação do solo**. 2. ed. Curitiba: IAPAR: SEAB, 1994.

WIETHOLTER, S. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto: experiência nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 25; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 8; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 6; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 3, 2000, Santa Maria: Brasil. **Fertbio 2000**: biodinâmica do solo. Santa Maria: Centro de Ciências Rurais Departamento de Solos, UFSM, 2000. CD-ROM.

WILDNER, L. P.; DADALTO, G. G. Adubos verdes de verão para o Oeste Catarinense. **Agropecuária Catarinense**, v. 4, n. 3, p. 36-40, 1991.

WORDEL FILHO, J. A.; ROWE, E.; GONÇALVES, P. A. de S.; DEBARBA, J. F.; BOFF, P.; THOMAZELLI, L. F. **Manejo fitossanitário na cultura da cebola**. Florianópolis: Epagri, 2006. 226p.

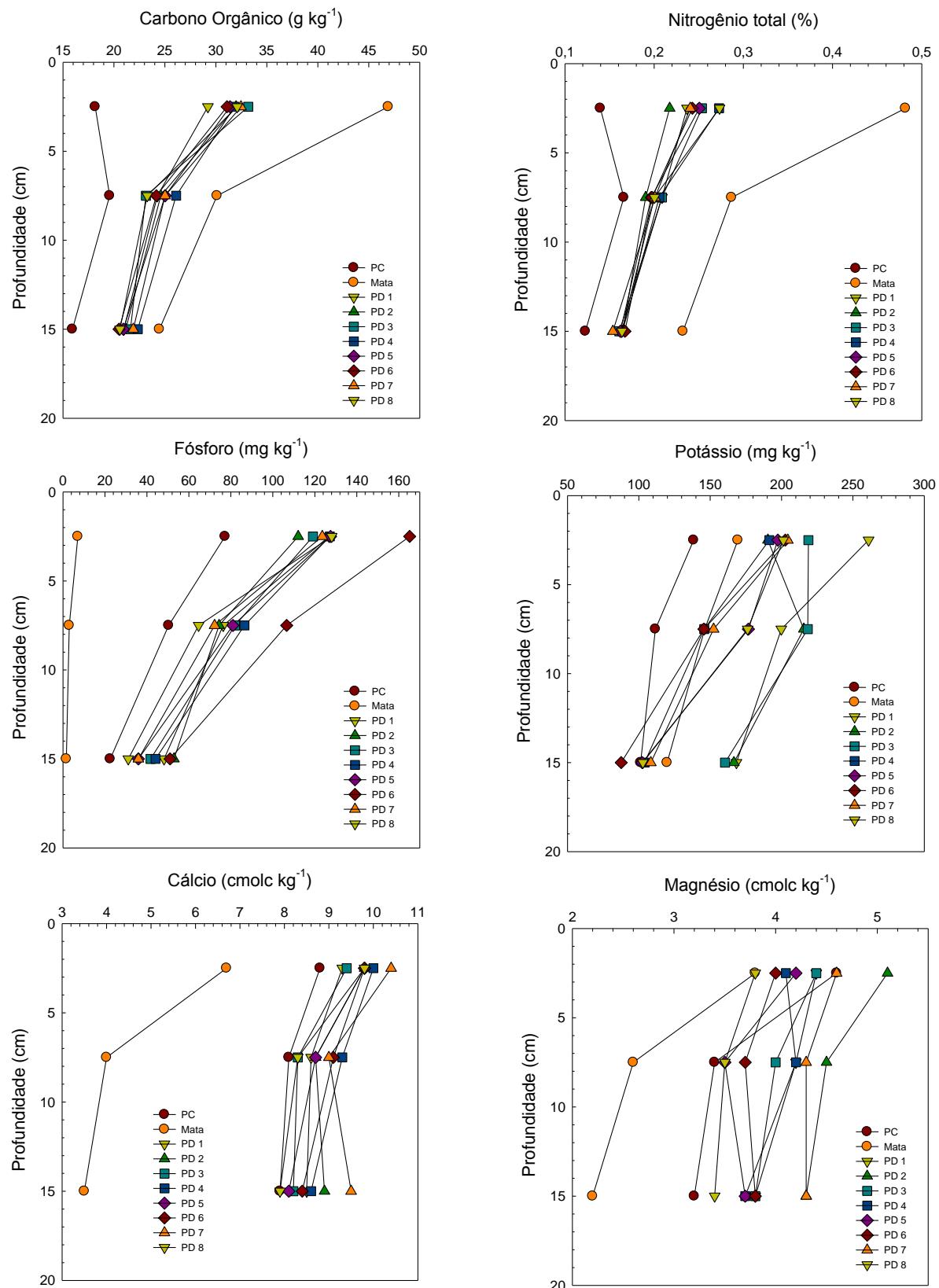
APÊNDICES

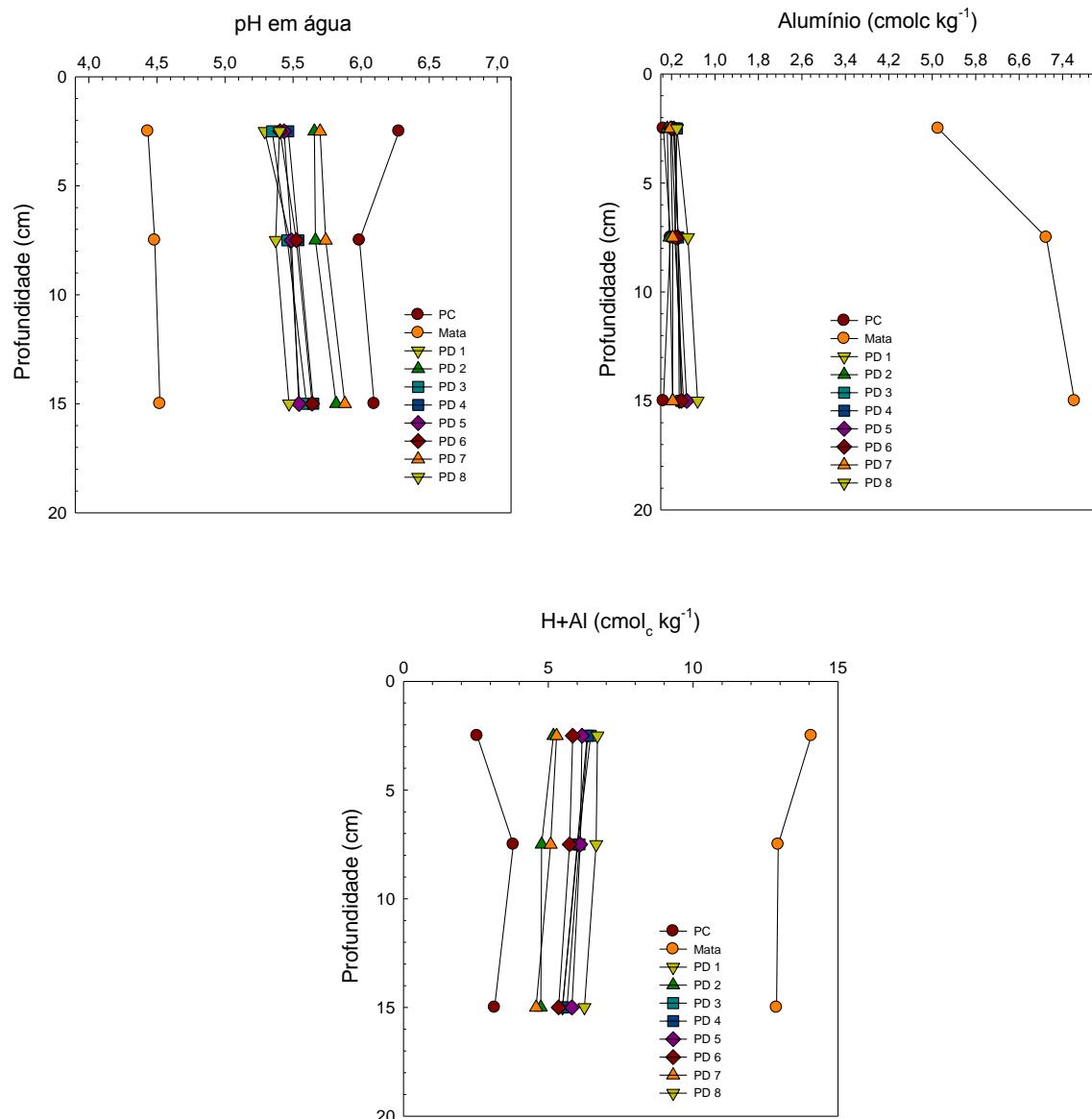
APÊNDICE A – Figuras relacionadas à degradação do solo sob prenaro convencional na cultura da cebola em Ituporanga.



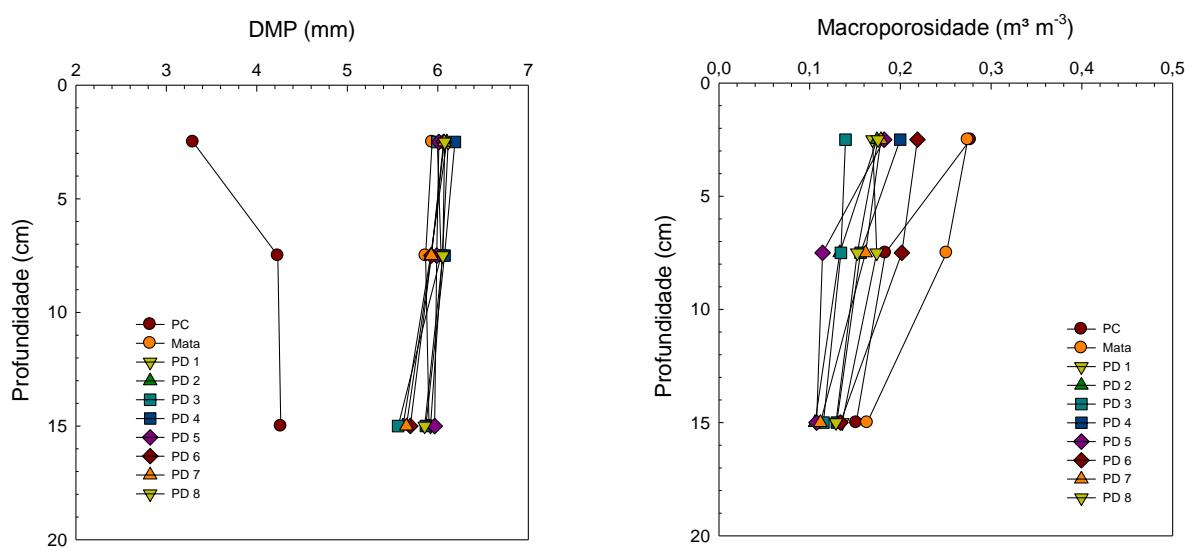
Figura 1. A – Processo erosivo em lavoura com cultivo de cebola sob prenaro convencional do solo na região de Ituporanga – SC. B – Selamento superficial do solo em lavoura com cultivo de cebola sob prenaro convencional em Ituporanga – SC.

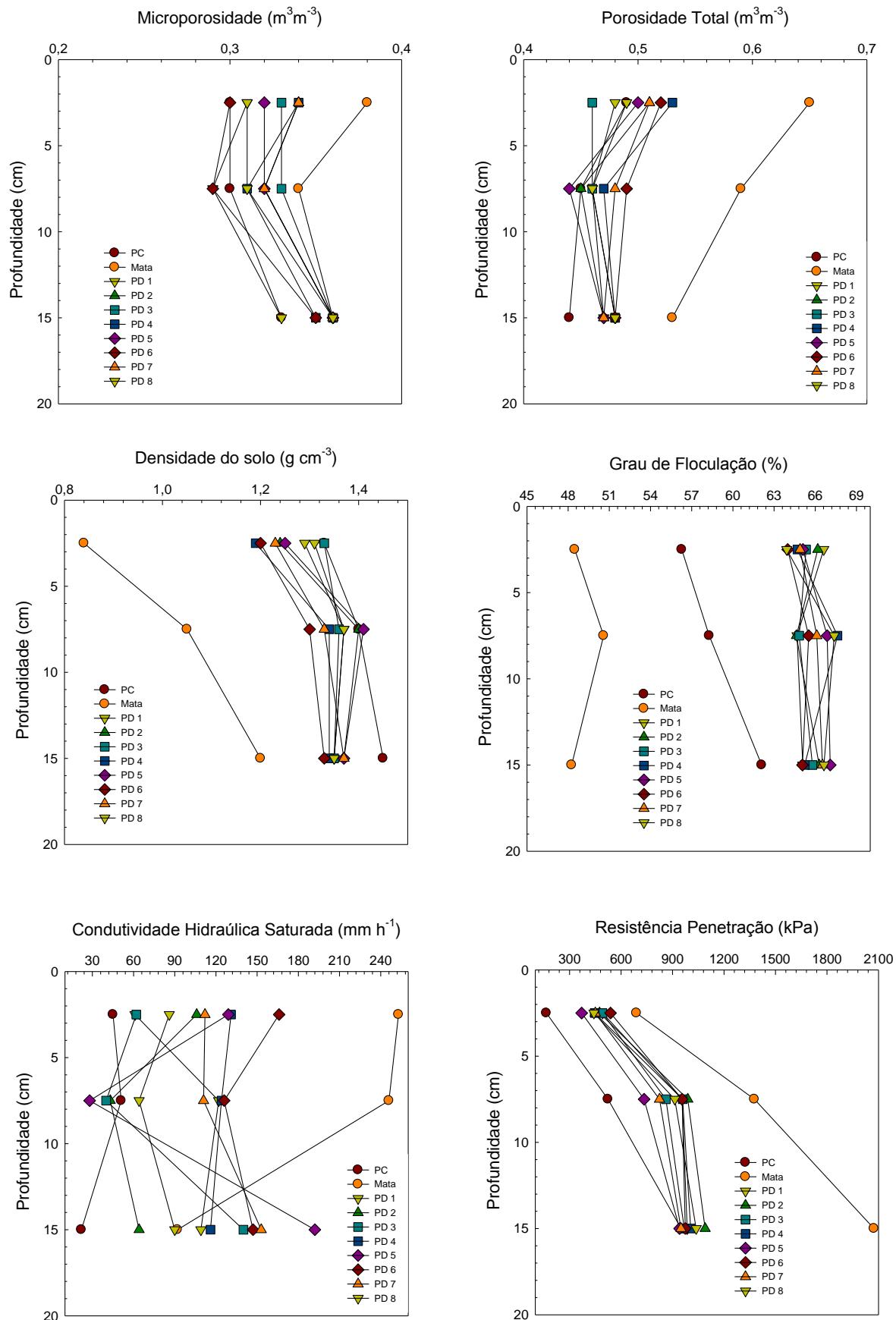
APÊNDICE B – Resultados gráficos dos atributos químicos do solo.





APÊNDICE C – Resultados gráficos dos atributos físicos do solo





APÊNDICE D – Resultados atributos químicos avaliados nas cinco repetições.

Tratamento	Camada	Repetição	CO	N	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	pH H ₂ O	pH CaCl ₂
			---(g kg ⁻¹)---	---(mg kg ⁻¹)---	------(cmolc kg ⁻¹)-----							
1	1	1	30,0	2,4	107,92	266	8,3	4,1	0,1	5,18	5,38	4,89
1	1	2	25,8	2,2	137,56	289	10,0	4,5	0,1	5,37	5,52	4,88
1	1	3	28,2	2,2	128,61	222	10,1	4,9	0,1	5,73	5,66	5,0
1	1	4	35,6	2,9	148,18	273	8,4	4,3	0,4	7,26	5,1	4,63
1	1	5	26,5	2,2	111,83	255	9,8	4,1	0,5	8,17	4,8	4,48
1	2	1	20,6	1,8	55,92	223	8,3	4,0	0,2	4,85	5,58	4,83
1	2	2	23,4	1,9	85,55	225	9,2	4,5	0,1	5,05	5,7	5,04
1	2	3	24,1	1,8	94,50	164	9,4	4,7	0,1	5,29	5,74	4,99
1	2	4	26,2	2,3	86,11	210	7,3	3,8	0,7	7,42	5,21	4,56
1	2	5	26,9	2,7	59,83	177	8,8	4,1	0,5	7,39	5,16	4,64
1	3	1	18,0	1,3	26,84	151	7,0	3,6	0,3	4,69	5,67	4,77
1	3	2	19,2	1,4	70,64	114	9,5	4,1	0,1	4,62	5,82	4,93
1	3	3	20,7	1,6	62,25	286	8,8	4,1	0,2	5,39	5,57	4,82
1	3	4	23,1	1,8	44,92	150	7,7	3,2	0,8	7,18	5,24	4,61
1	3	5	23,8	2,0	36,16	141	9,5	4,0	0,3	5,58	5,44	4,75
2	1	1	29,8	2,1	125,81	204	9,2	4,9	0,1	4,59	5,69	5,08
2	1	2	33,4	2,2	109,04	249	7,6	4,1	0,1	5,40	5,53	4,82
2	1	3	29,8	2,2	138,11	174	10,0	5,1	0,1	4,88	5,73	5,11
2	1	4	34,1	1,6	96,74	144	11,6	5,7	0,1	5,45	5,59	5,12
2	1	5	32,8	2,7	90,59	181	10,4	5,9	0,2	5,55	5,74	5,1
2	2	1	22,9	1,9	91,70	290	8,3	4,3	0,1	4,62	5,61	4,85
2	2	2	24,9	1,9	75,49	191	7,4	3,8	0,3	5,88	5,46	4,66
2	2	3	25,5	1,8	97,85	288	8,8	4,5	0,1	5,14	5,67	4,91
2	2	4	25,1	1,9	58,15	230	10,0	4,9	0,1	3,82	6	5,31
2	2	5	24,6	2,0	48,65	79	9,1	4,9	0,2	4,38	5,58	4,96
2	3	1	19,6	1,7	69,52	228	8,0	4,0	0,2	4,67	5,6	4,86
2	3	2	19,8	1,3	46,60	269	7,1	3,6	0,6	6,06	5,46	4,7
2	3	3	21,4	1,6	60,76	181	9,1	4,5	0,2	4,59	5,75	4,97
2	3	4	22,7	1,9	50,70	113	10,2	4,3	0,0	3,47	6,19	5,47
2	3	5	22,2	1,8	36,72	42	10,1	4,9	0,1	4,93	6,08	5,12
3	1	1	33,4	2,5	69,34	270	7,8	4,1	0,3	6,33	5,4	4,73
3	1	2	32,4	2,2	143,15	287	10,3	4,5	0,1	5,40	5,59	4,96
3	1	3	32,8	2,1	129,73	164	9,5	4,5	0,2	5,73	5,47	4,88
3	1	4	34,6	3,1	149,30	262	8,8	3,8	0,5	8,16	4,93	4,53
3	1	5	32,7	2,8	104,01	111	10,7	4,9	0,2	6,69	5,34	4,86
3	2	1	21,4	1,6	41,94	225	6,0	3,8	0,5	5,65	5,43	4,64
3	2	2	24,0	1,7	92,26	275	9,1	4,0	0,2	5,47	5,6	4,88
3	2	3	22,4	2,8	111,83	296	8,4	4,1	0,2	5,75	5,54	4,83
3	2	4	24,3	2,2	102,33	217	8,2	3,4	0,5	7,31	5,14	4,58
3	2	5	23,6	2,1	61,51	79	10,0	4,7	0,2	5,89	5,58	4,91

Tratamento	Camada	Repetição	CO ---(g kg ⁻¹)---	N ---(mg kg ⁻¹)---	P ---(mg kg ⁻¹)---	K	Ca	Mg -----(cmolc kg ⁻¹)-----	Al	H+Al	pH H ₂ O	pH CaCl ₂
3	3	1	19,9	1,5	23,11	175	6,8	3,6	0,6	5,52	5,55	4,63
3	3	2	22,1	1,5	36,72	192	7,9	3,6	0,2	4,69	5,74	4,92
3	3	3	22,7	1,6	64,30	224	8,2	4,0	0,5	5,53	5,6	4,74
3	3	4	22,6	1,9	47,90	160	8,0	3,0	0,5	6,58	5,27	4,69
3	3	5	20,8	1,6	36,53	51	10,0	4,9	0,1	5,13	5,83	5,11
4	1	1	28,8	2,4	71,01	144	7,4	3,4	0,4	6,79	5,33	4,59
4	1	2	31,4	2,4	110,16	231	10,9	4,5	0,1	4,78	5,83	5,13
4	1	3	30,6	2,6	187,32	151	11,5	5,3	0,3	5,03	5,82	5,16
4	1	4	33,2	2,9	174,46	214	10,6	3,2	0,3	7,39	5,14	4,73
4	1	5	35,1	3,3	92,82	217	9,6	4,3	0,4	7,82	5,2	4,7
4	2	1	25,3	1,8	40,26	93	7,7	4,0	0,1	6,07	5,42	4,66
4	2	2	25,8	1,7	41,94	191	9,6	4,5	0,1	4,57	5,89	5,03
4	2	3	27,1	2,0	152,65	140	11,4	5,3	0,0	4,15	6,03	5,32
4	2	4	26,8	2,5	132,52	160	8,9	3,6	0,5	7,62	5,14	4,64
4	2	5	25,4	2,2	64,86	145	9,0	3,8	0,6	7,96	5,21	4,57
4	3	1	19,6	1,4	21,62	77	7,4	3,8	0,4	5,13	5,59	4,77
4	3	2	22,9	1,6	19,57	152	8,9	2,6	0,1	4,00	6,02	5,1
4	3	3	22,8	1,7	105,12	87	10,2	5,1	0,1	4,33	5,93	5,19
4	3	4	23,3	1,7	43,24	126	7,7	3,0	1,0	7,59	5,28	4,53
4	3	5	23,1	1,9	30,94	78	8,6	3,8	0,5	7,18	5,42	4,7
5	1	1	28,3	2,2	66,54	158	8,3	4,3	0,3	6,28	5,37	4,73
5	1	2	29,8	2,3	157,69	298	10,1	3,8	0,2	5,31	5,67	4,99
5	1	3	31,5	2,3	143,15	156	9,7	4,0	0,2	5,86	5,51	4,91
5	1	4	33,9	2,5	166,63	247	10,3	4,3	0,2	6,19	5,35	4,91
5	1	5	33,5	3,1	103,45	128	10,8	4,5	0,3	7,18	5,27	4,77
5	2	1	23,3	1,6	33,55	98	7,7	4,0	0,3	5,60	5,56	4,75
5	2	2	26,8	1,9	91,70	235	8,6	2,4	0,3	6,02	5,53	4,78
5	2	3	23,0	1,9	98,97	282	8,3	3,6	0,4	5,99	5,52	4,69
5	2	4	25,1	2,0	115,75	181	9,7	4,3	0,2	5,97	5,48	4,89
5	2	5	26,8	2,4	64,86	88	9,1	3,4	0,4	6,92	5,35	4,7
5	3	1	19,1	1,4	17,52	60	7,8	4,1	0,3	5,18	5,66	4,8
5	3	2	21,1	1,6	38,02	115	7,1	2,8	0,8	6,22	5,48	4,69
5	3	3	19,7	1,6	33,92	154	7,3	3,6	0,7	5,70	5,58	4,63
5	3	4	21,7	1,7	48,83	123	8,9	3,8	0,3	6,01	5,48	4,86
5	3	5	23,0	1,9	41,38	60	9,4	4,0	0,3	5,97	5,51	4,83
6	1	1	30,0	2,4	143,71	241	8,8	4,0	0,1	5,42	5,47	4,94
6	1	2	33,9	2,2	234,29	201	9,0	3,2	0,4	7,18	5,13	4,62
6	1	3	30,8	2,3	177,82	224	9,8	3,2	0,2	6,30	5,41	4,79
6	1	4	30,0	2,8	145,38	232	11,6	4,9	0,1	3,79	5,7	5,03
6	1	5	30,8	2,6	124,69	115	10,1	4,7	0,2	6,53	5,31	4,82
6	2	1	22,9	1,9	83,88	191	8,5	3,8	0,2	5,14	5,54	4,64
6	2	2	24,0	2,1	152,09	144	8,3	2,2	0,6	7,08	5,34	4,58
6	2	3	26,7	1,8	127,49	159	8,6	3,4	0,3	5,99	5,41	4,7
6	2	4	24,6	2,1	91,70	158	9,8	4,5	0,1	4,90	5,78	5,08
6	2	5	22,7	2,0	77,72	76	10,3	4,7	0,2	5,57	5,55	4,96

Tratamento	Camada	Repetição	CO ---(g kg ⁻¹)---	N ---(mg kg ⁻¹)---	P ---(mg kg ⁻¹)---	K ---(mg kg ⁻¹)---	Ca -----(cmolc kg ⁻¹)-----	Mg -----(cmolc kg ⁻¹)-----	Al -----(cmolc kg ⁻¹)-----	H+Al -----(cmolc kg ⁻¹)-----	pH H ₂ O	pH CaCl ₂
6	3	1	18,0	1,5	44,55	108	6,4	3,2	0,3	4,56	5,73	4,85
6	3	2	20,9	1,6	65,05	98	7,1	2,6	0,9	6,89	5,34	4,56
6	3	3	21,9	1,6	71,76	88	7,9	3,4	0,5	6,10	5,46	4,63
6	3	4	20,8	1,6	29,64	93	9,7	4,7	0,1	4,61	5,82	5,11
6	3	5	21,0	2,1	43,99	51	10,9	5,1	0,1	4,62	5,85	5,19
7	1	1	32,4	2,1	106,80	283	8,6	4,1	0,2	4,31	5,71	5,14
7	1	2	31,2	2,3	132,52	285	10,1	4,0	0,1	5,09	5,79	5,05
7	1	3	30,0	2,2	133,64	209	10,8	5,3	0,1	4,39	5,9	5,19
7	1	4	33,4	2,5	128,61	153	12,1	5,3	0,1	4,62	5,94	5,29
7	1	5	35,5	2,9	116,31	92	10,3	4,5	0,4	8,01	5,15	4,67
7	2	1	24,1	2,0	54,80	226	8,8	4,3	0,1	4,56	5,84	4,97
7	2	2	25,4	1,9	77,17	238	6,6	3,6	0,4	5,91	5,58	4,79
7	2	3	22,9	1,7	86,67	127	9,7	4,9	0,0	3,51	6,15	5,36
7	2	4	25,6	2,0	80,52	111	10,8	4,9	0,1	4,38	5,88	5,17
7	2	5	27,1	2,3	62,07	60	9,1	3,8	0,5	7,05	5,25	4,72
7	3	1	19,8	1,5	30,94	191	8,0	4,1	0,1	4,18	5,85	4,92
7	3	2	21,0	1,3	31,50	163	8,8	3,2	0,7	5,93	5,53	4,67
7	3	3	21,1	1,4	41,56	72	10,7	5,1	0,0	2,96	6,36	5,52
7	3	4	23,5	1,6	35,79	65	10,3	4,9	0,1	4,02	6,09	5,28
7	3	5	23,9	1,9	39,89	51	9,5	4,1	0,2	5,81	5,57	4,95
8	1	1	28,0	2,5	71,01	261	9,1	4,0	0,2	6,06	5,55	4,84
8	1	2	29,8	2,4	139,23	186	10,2	3,6	0,1	5,14	5,8	5,09
8	1	3	33,9	2,6	149,86	244	9,6	3,4	0,3	6,56	5,32	4,66
8	1	4	31,9	3,2	174,46	224	8,5	3,4	0,6	8,48	5	4,51
8	1	5	36,8	2,9	105,68	91	11,5	4,5	0,3	7,25	5,33	4,79
8	2	1	21,2	1,9	42,50	222	7,3	3,6	0,5	6,01	5,49	4,69
8	2	2	23,4	1,9	74,37	292	8,4	3,8	0,2	5,57	5,69	4,85
8	2	3	23,1	1,9	65,42	173	7,6	3,0	0,6	6,87	5,27	4,56
8	2	4	22,9	2,1	73,25	134	7,9	3,0	0,9	7,77	5,02	4,53
8	2	5	25,7	2,3	67,66	60	10,3	4,1	0,3	7,03	5,39	4,7
8	3	1	19,2	1,4	15,10	119	7,6	3,6	0,9	5,91	5,47	4,58
8	3	2	19,1	1,4	39,70	189	8,0	3,6	0,4	5,44	5,67	4,88
8	3	3	21,4	1,6	41,01	95	7,0	3,2	0,7	6,25	5,41	4,55
8	3	4	21,1	1,8	28,33	78	7,1	2,8	1,2	7,54	5,18	4,48
8	3	5	22,1	1,9	31,50	33	10,0	4,0	0,2	6,10	5,62	4,9
MN	1	1	50,5	4,9	5,03	213	6,5	4,0	7,4	17,28	4,22	3,55
MN	1	2	47,8	4,3	9,32	189	4,8	3,6	6,1	14,95	4,34	3,79
MN	1	3	47,8	5,3	8,76	155	7,3	3,4	4,8	14,50	4,4	3,71
MN	1	4	36,5	4,2	6,34	150	4,8	3,2	6,5	13,76	4,32	3,79
MN	1	5	51,9	5,4	5,96	140	10,3	5,1	0,8	9,92	4,89	4,3
MN	2	1	33,7	3,0	2,80	156	3,1	2,8	10,0	16,65	4,26	3,66
MN	2	2	28,2	3,0	2,98	137	1,6	1,6	8,7	14,15	4,35	3,62
MN	2	3	26,7	3,1	3,17	133	6,0	3,2	5,7	10,80	4,53	3,75
MN	2	4	32,2	2,0	1,12	99	1,8	1,6	9,1	14,22	4,38	3,62
MN	2	5	29,8	3,3	4,85	206	7,6	4,1	2,0	8,87	4,9	4,11

Tratamento	Camada	Repetição	CO	N	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	pH H ₂ O	pH CaCl ₂
			---(g kg ⁻¹)---	---(mg kg ⁻¹)---			-----(cmolc kg ⁻¹)-----					
MN	3	1	37,3	2,7	1,30	140	2,2	1,8	11,2	17,15	4,26	3,48
MN	3	2	20,7	2,2	2,05	112	1,3	1,4	9,4	14,17	4,35	3,56
MN	3	3	22,6	2,5	1,86	113	5,4	2,6	6,5	11,33	4,7	3,82
MN	3	4	16,5	2,2	1,68	102	1,7	1,8	8,6	13,44	4,39	3,71
MN	3	5	25,1	2,0	1,30	132	7,1	3,4	2,3	8,30	4,91	4,15
PC	1	1	18,2	1,7	85,55	169	9,4	4,7	0,0	2,99	5,85	5,64
PC	1	2	19,1	1,2	58,15	108	9,2	4,9	0,0	1,90	6,6	6
PC	1	3	18,8	1,3	81,64	149	8,2	4,5	0,1	2,24	6,49	5,83
PC	1	4	18,6	1,4	82,76	138	8,9	4,5	0,0	2,60	6,33	5,63
PC	1	5	16,0	1,4	78,10	128	8,5	4,1	0,0	2,98	6,12	5,52
PC	2	1	20,1	1,5	68,78	162	9,1	4,0	0,0	3,77	6,28	5,33
PC	2	2	23,6	2,3	2,05	37	6,0	2,6	0,7	5,97	5,3	4,55
PC	2	3	17,7	1,5	59,27	111	8,5	3,8	0,0	2,96	6,23	5,49
PC	2	4	18,6	1,4	62,63	133	8,0	3,4	0,0	3,04	6,07	5,4
PC	2	5	17,9	1,6	59,09	115	8,6	3,6	0,1	3,22	6,06	5,36
PC	3	1	17,5	1,2	31,50	134	8,4	3,0	0,1	3,73	5,94	5,19
PC	3	2	16,4	1,4	26,65	84	7,4	3,0	0,1	3,68	5,91	5,11
PC	3	3	13,8	1,2	18,83	87	8,8	3,6	0,0	2,73	6,29	5,5
PC	3	4	15,4	1,1	15,84	102	7,6	3,2	0,0	2,72	6,35	5,51
PC	3	5	16,6	1,3	19,76	99	7,7	3,2	0,0	2,88	5,99	5,52

APÊNDICE E – Resultados atributos físicos avaliados nas cinco repetições.

Tratamento	Camada	Repetição	DMP (mm)	MA -----(m ³ m ⁻³)-----	MI -----(m ³ m ⁻³)-----	PT	DS (g cm ⁻³)	CH (mm h ⁻¹)	GF (m ³ m ⁻³)	RP (kPa)
1	1	1	6,13	0,11	0,31	0,42	1,49	13	67	824
1	1	2	5,60	0,13	0,32	0,45	1,41	45	65	247
1	1	3	5,94	0,15	0,33	0,47	1,32	32	70	508
1	1	4	6,18	0,17	0,34	0,51	1,23	34	61	180
1	1	5	6,18	0,29	0,27	0,56	1,11	181	70	703
1	2	1	5,83	0,15	0,25	0,39	1,57	164	61	1115
1	2	2	6,00	0,13	0,31	0,44	1,42	76	64	918
1	2	3	5,54	0,16	0,29	0,44	1,43	130	65	993
1	2	4	5,50	0,19	0,31	0,50	1,26	73	64	819
1	2	5	6,13	0,24	0,30	0,54	1,17	170	69	933
1	3	1	6,04	0,13	0,31	0,44	1,44	48	56	1025
1	3	2	5,47	0,15	0,33	0,48	1,30	135	65	996
1	3	3	5,95	0,11	0,34	0,45	1,43	14	67	1041
1	3	4	5,75	0,16	0,33	0,49	1,27	124	68	895
1	3	5	5,46	0,12	0,36	0,48	1,33	227	69	970
2	1	1	6,13	0,20	0,37	0,57	1,11	226	62	396
2	1	2	5,89	0,18	0,33	0,51	1,24	39	65	275

Tratamento	Camada	Repetição	DMP (mm)	MA ($m^3 m^{-3}$)	MI ($m^3 m^{-3}$)	PT	DS ($g cm^{-3}$)	CH ($mm h^{-1}$)	GF ($m^3 m^{-3}$)	RP (kPa)
2	1	3	5,42	0,13	0,34	0,47	1,34	79	68	621
2	1	4	6,11	0,17	0,35	0,52	1,22	95	69	513
2	1	5	5,46	0,20	0,29	0,49	1,30	92	66	568
2	2	1	5,78	0,14	0,32	0,45	1,43	67	57	817
2	2	2	6,10	0,12	0,32	0,44	1,42	39	67	899
2	2	3	5,71	0,15	0,32	0,47	1,35	42	66	1105
2	2	4	5,76	0,12	0,35	0,46	1,40	47	67	832
2	2	5	6,32	0,15	0,30	0,44	1,43	22	67	1290
2	3	1	6,25	0,14	0,32	0,45	1,44	235	66	976
2	3	2	5,90	0,08	0,37	0,45	1,42	31	66	962
2	3	3	5,98	0,13	0,36	0,49	1,31	25	63	1132
2	3	4	5,89	0,08	0,39	0,47	1,35	5	69	1014
2	3	5	5,88	0,11	0,37	0,48	1,34	24	67	1365
3	1	1	5,40	0,12	0,33	0,46	1,37	63	67	654
3	1	2	6,03	0,12	0,34	0,46	1,38	22	64	397
3	1	3	6,11	0,11	0,33	0,44	1,40	16	65	517
3	1	4	5,94	0,17	0,33	0,49	1,24	152	67	331
3	1	5	6,02	0,17	0,33	0,49	1,28	57	64	560
3	2	1	5,52	0,11	0,34	0,45	1,39	46	63	1049
3	2	2	6,08	0,14	0,35	0,49	1,35	61	65	603
3	2	3	6,23	0,13	0,32	0,45	1,40	27	64	940
3	2	4	5,29	0,17	0,31	0,48	1,31	21	66	737
3	2	5	6,11	0,12	0,34	0,46	1,36	47	67	978
3	3	1	6,07	0,11	0,36	0,47	1,38	112	66	1075
3	3	2	5,90	0,12	0,35	0,47	1,35	141	65	739
3	3	3	6,11	0,13	0,35	0,47	1,35	66	64	1019
3	3	4	6,05	0,13	0,36	0,50	1,28	27	70	1033
3	3	5	5,87	0,09	0,39	0,48	1,38	353	64	975
4	1	1	6,15	0,17	0,36	0,52	1,22	134	64	436
4	1	2	5,81	0,19	0,35	0,54	1,27	201	64	280
4	1	3	5,75	0,25	0,29	0,53	1,16	168	64	461
4	1	4	6,24	0,24	0,33	0,57	1,09	122	65	536
4	1	5	6,19	0,16	0,35	0,51	1,22	29	66	518
4	2	1	6,05	0,14	0,32	0,46	1,39	272	67	1242
4	2	2	5,97	0,18	0,28	0,46	1,37	124	67	826
4	2	3	5,96	0,19	0,30	0,49	1,28	132	65	756
4	2	4	6,03	0,14	0,35	0,49	1,29	44	71	947
4	2	5	6,25	0,13	0,33	0,47	1,36	49	67	1022
4	3	1	6,20	0,15	0,33	0,48	1,34	358	64	1228
4	3	2	6,05	0,14	0,33	0,47	1,38	128	63	920
4	3	3	5,92	0,12	0,36	0,49	1,33	42	64	924
4	3	4	6,29	0,09	0,39	0,48	1,34	25	69	966
4	3	5	5,20	0,15	0,35	0,50	1,29	29	66	989
5	1	1	6,24	0,21	0,33	0,54	1,17	303	65	438
5	1	2	5,99	0,12	0,36	0,48	1,34	34	63	423
5	1	3	5,99	0,20	0,30	0,49	1,26	205	63	302

Tratamento	Camada	Repetição	DMP (mm)	MA ----- (m ³ m ⁻³)-----	MI ----- (m ³ m ⁻³)-----	PT	DS (g cm ⁻³)	CH (mm h ⁻¹)	GF (m ³ m ⁻³)	RP (kPa)
5	1	4	6,21	0,21	0,31	0,53	1,17	82	67	293
5	1	5	6,01	0,17	0,30	0,46	1,32	23	68	397
5	2	1	5,16	0,10	0,35	0,45	1,43	15	65	813
5	2	2	6,07	0,11	0,32	0,43	1,40	50	65	661
5	2	3	6,26	0,10	0,33	0,43	1,46	16	67	731
5	2	4	5,95	0,15	0,32	0,47	1,36	18	70	772
5	2	5	6,01	0,11	0,32	0,43	1,42	40	68	694
5	3	1	5,61	0,07	0,37	0,44	1,45	147	64	1038
5	3	2	5,36	0,15	0,35	0,50	1,30	297	65	909
5	3	3	6,24	0,09	0,35	0,44	1,41	15	66	988
5	3	4	6,22	0,09	0,38	0,47	1,36	467	70	798
5	3	5	5,88	0,14	0,35	0,48	1,32	32	70	973
6	1	1	5,76	0,16	0,30	0,46	1,36	143	63	640
6	1	2	5,84	0,18	0,29	0,47	1,26	76	61	430
6	1	3	5,40	0,29	0,28	0,57	1,08	387	65	538
6	1	4	6,17	0,22	0,31	0,53	1,20	108	68	372
6	1	5	6,12	0,24	0,32	0,56	1,10	115	64	714
6	2	1	5,64	0,19	0,32	0,51	1,30	241	64	1039
6	2	2	6,25	0,15	0,32	0,46	1,38	87	67	885
6	2	3	5,99	0,22	0,30	0,52	1,19	153	67	816
6	2	4	6,09	0,14	0,33	0,46	1,39	10	62	820
6	2	5	6,21	0,31	0,20	0,50	1,26	138	67	1218
6	3	1	6,19	0,13	0,32	0,44	1,41	114	60	943
6	3	2	5,95	0,13	0,36	0,48	1,30	326	63	1073
6	3	3	6,11	0,14	0,35	0,50	1,30	74	65	822
6	3	4	6,23	0,15	0,35	0,50	1,31	90	69	810
6	3	5	5,85	0,13	0,36	0,49	1,33	132	68	1222
7	1	1	5,88	0,11	0,37	0,48	1,35	70	64	386
7	1	2	6,25	0,15	0,31	0,47	1,34	163	65	660
7	1	3	5,60	0,16	0,32	0,48	1,35	110	65	461
7	1	4	6,08	0,22	0,35	0,57	1,08	112	65	273
7	1	5	6,00	0,25	0,33	0,58	1,02	103	65	468
7	2	1	6,08	0,14	0,33	0,47	1,36	346	68	689
7	2	2	5,90	0,09	0,38	0,47	1,38	19	66	1029
7	2	3	5,98	0,31	0,17	0,49	1,32	53	64	825
7	2	4	5,80	0,15	0,34	0,49	1,29	115	64	651
7	2	5	6,22	0,12	0,37	0,49	1,31	23	68	928
7	3	1	6,00	0,08	0,35	0,43	1,48	88	64	758
7	3	2	5,84	0,10	0,37	0,47	1,36	89	67	1087
7	3	3	5,79	0,12	0,33	0,45	1,38	23	67	902
7	3	4	6,22	0,15	0,36	0,51	1,28	555	66	952
7	3	5	6,23	0,11	0,38	0,48	1,34	8	69	1046
8	1	1	6,22	0,14	0,30	0,44	1,43	87	65	618
8	1	2	6,21	0,17	0,29	0,46	1,36	97	65	616
8	1	3	5,76	0,15	0,34	0,49	1,29	107	64	241
8	1	4	6,06	0,22	0,30	0,52	1,22	42	65	230

Tratamento	Camada	Repetição	DMP (mm)	MA ----- (m ³ m ⁻³)-----	MI ----- (m ³ m ⁻³)-----	PT	DS (g cm ⁻³)	CH (mm h ⁻¹)	GF (m ³ m ⁻³)	RP (kPa)
8	1	5	6,14	0,20	0,34	0,53	1,18	98	61	505
8	2	1	6,11	0,16	0,30	0,46	1,42	55	66	1193
8	2	2	6,25	0,15	0,28	0,44	1,42	39	66	799
8	2	3	6,01	0,12	0,33	0,45	1,39	152	69	925
8	2	4	5,67	0,15	0,32	0,47	1,35	21	69	757
8	2	5	5,97	0,17	0,31	0,49	1,29	51	67	890
8	3	1	5,97	0,06	0,39	0,45	1,44	11	64	1186
8	3	2	5,83	0,14	0,32	0,46	1,39	71	64	823
8	3	3	6,24	0,16	0,35	0,50	1,29	111	63	1010
8	3	4	5,50	0,12	0,38	0,50	1,33	58	69	1083
8	3	5	5,78	0,16	0,34	0,50	1,28	197	74	1085
MN	1	1	5,74	0,44	0,28	0,72	0,67	341	55	605
MN	1	2	5,78	0,26	0,42	0,68	0,77	253	50	775
MN	1	3	5,81	0,21	0,42	0,63	0,90	176	48	690
MN	1	4	6,03	0,17	0,38	0,54	1,12	78	51	940
MN	1	5	5,80	0,30	0,39	0,68	0,75	416	38	444
MN	2	1	5,71	0,27	0,34	0,61	1,00	136	48	1990
MN	2	2	6,15	0,25	0,34	0,59	1,03	461	54	1457
MN	2	3	6,01	0,25	0,34	0,60	1,06	172	51	604
MN	2	4	6,19	0,21	0,31	0,52	1,21	153	50	1771
MN	2	5	5,58	0,27	0,36	0,63	0,93	308	50	1065
MN	3	1	5,29	0,18	0,42	0,60	1,03	131	49	2219
MN	3	2	5,80	0,10	0,39	0,49	1,26	22	50	2331
MN	3	3	6,20	0,14	0,34	0,48	1,32	47	51	1606
MN	3	4	6,45	0,20	0,34	0,54	1,14	39	43	2377
MN	3	5	6,00	0,20	0,33	0,53	1,22	221	48	1840
PC	1	1	5,62	0,19	0,32	0,51	1,26	93	56	97
PC	1	2	5,66	0,18	0,31	0,49	1,32	29	58	244
PC	1	3	5,20	0,11	0,34	0,45	1,42	18	53	144
PC	1	4	6,05	0,24	0,26	0,50	1,30	40	57	62
PC	1	5	5,51	0,22	0,25	0,48	1,35	46	58	277
PC	2	1	5,50	0,16	0,33	0,49	1,33	107	53	208
PC	2	2	6,07	0,16	0,30	0,46	1,39	12	73	755
PC	2	3	6,08	0,09	0,35	0,43	1,46	51	54	538
PC	2	4	5,62	0,19	0,29	0,48	1,33	60	54	348
PC	2	5	6,18	0,15	0,25	0,40	1,50	24	57	770
PC	3	1	5,94	0,16	0,31	0,47	1,41	61	60	621
PC	3	2	5,48	0,11	0,33	0,44	1,44	5	61	1055
PC	3	3	6,05	0,06	0,36	0,42	1,52	22	64	817
PC	3	4	6,15	0,12	0,33	0,44	1,43	12	64	1082
PC	3	5	5,93	0,11	0,33	0,44	1,47	10	62	1175