

**HELTON APARECIDO ROSA**

**POTENCIAL ESTRUTURANTE DE ESPÉCIES DE COBERTURA  
EM UM LATOSSOLO ARGILOSO E SEUS REFLEXOS NO  
RENDIMENTO DE GRÃOS E DE ÓLEO DO CRAMBE**

CASCAVEL  
2013

**HELTON APARECIDO ROSA**

**POTENCIAL ESTRUTURANTE DE ESPÉCIES DE COBERTURA  
EM UM LATOSSOLO ARGILOSO E SEUS REFLEXOS NO  
RENDIMENTO DE GRÃOS E DE ÓLEO DO CRAMBE**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Energia na Agricultura para obtenção do título de Mestre.

Professor Orientador: Dr. Deonir Secco

Professor Co-orientador: Dr. Reginaldo Ferreira Santos

CASCADEL  
2013

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**

**Biblioteca Central do Campus de Cascavel – Unioeste**  
**Ficha catalográfica elaborada por Jeanine da Silva Barros CRB-9/1362**

R694p Rosa, Helton Aparecido  
Potencial estruturante de espécies de cobertura em um latossolo argiloso e seus reflexos no rendimento de grãos e de óleo do crambe. / Helton Aparecido Rosa— Cascavel, PR: UNIOESTE, 2013.  
39 p.

Orientador: Prof. Dr. Deonir Secco  
Co-orientador: Prof. Dr. Reginaldo Ferreira Santos  
Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná.  
Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Energia na Agricultura, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas.  
Bibliografia.

1. Estrutura do solo. 2. Solo - Densidade. 3. Solo – Resistência. I. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. II. Título.

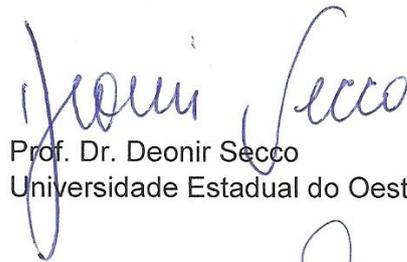
CDD 21.ed. 631.4

HELTON APARECIDO ROSA

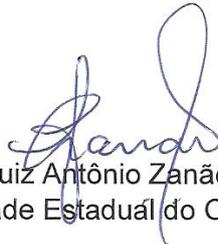
**“Potencial estruturante de espécies de cobertura em Latossolo argiloso e seus reflexos no rendimento de grãos e de óleo do crambe”**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, **aprovada** pela seguinte Banca Examinadora:

Orientador:



Prof. Dr. Deonir Secco  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/Cascavel



Prof. Dr. Luiz Antônio Zanão Júnior  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/Cascavel



Prof. Dr. Tiago Roque Benetoli da Silva  
Universidade Estadual de Maringá – UEM/Umuarama

Cascavel, 31 de janeiro de 2013.

*“Se você quer ser bem sucedido, precisa ter dedicação total, buscar seu último limite e dar o melhor de si mesmo....”*

Ayrton Senna da Silva

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus pela saúde e por proporcionar mais essa conquista em minha vida.

Aos meus pais, Maria Luiza Cornelian Rosa e Seldo Juarez Nunes Rosa por sempre me apoiarem e incentivarem.

À minha futura esposa Patricia Paris por fazer parte da minha vida e me apoiar sempre em tudo.

A todos os professores do Programa de Mestrado em Energia na Agricultura pelos conhecimentos passados durante o curso.

Ao Professor e amigo Dr. Deonir Secco, orientador desse trabalho, que auxiliou e incentivou sempre na busca de um crescimento pessoal e profissional.

Ao Professor e Co-Orientador Dr. Reginaldo Ferreira Santos pelo apoio, amizade e desafios lançados durante o curso.

Aos amigos que ajudaram na pesquisa, Gustavo Veloso, Maycon Vieira, Guilherme Ruffato, Bruna Dolci, Aracéli Marins, Carlos Fornasari.

Aos demais amigos que fiz no mestrado entre eles: Luiz Inácio Chaves, Maurício Guy de Andrade, Octávio Viana, Heitor Jorge.

À Unioeste, por oferecer o programa de Mestrado e toda sua estrutura sempre a disposição.

À secretária do Mestrado Vanderléia, pela sua dedicação e prestação de serviço aos discentes do mestrado.

Ao CNPQ, pelo incentivo através da bolsa de pesquisa.

Aos amigos que fiz durante o período de estudo na Unioeste.

Agradeço enfim, a todos que contribuíram para a realização do trabalho.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Regressão linear entre o rendimento de grãos ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) e o rendimento de óleo ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) da cultura do crambe.....	19
Figura 2 Regressão linear entre o rendimento de grãos e a densidade do solo. .....	20

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Valores médios de densidade do solo (Mg m <sup>-3</sup> ) sob três profundidades e doze espécies de cobertura vegetal e área sem cultivo (média de quatro repetições) .....	16
Tabela 2 Valores médios de resistência do solo à penetração (MPa) sob quatro profundidades e doze espécies de cobertura e área sem cultivo. (média de quatro repetições) .....	18
Tabela 3 Rendimento de grãos e de óleo da cultura crambe e produções relativas após o uso de 12 espécies de cobertura e área sem cultivo (Média de 4 repetições).....	19

ROSA, Helton Aparecido. MSc, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Janeiro de 2013. **Potencial estruturante de espécies de cobertura em um latossolo argiloso e seus reflexos no rendimento de grãos e de óleo do crambe.** Professor Orientador Dr. Deonir Secco.

## RESUMO

Para adequado desenvolvimento das culturas, o solo deve desempenhar perfeitamente as suas funções, sendo que a principal é a de dar suporte ao crescimento de raízes para desenvolvimento das plantas. Dentre as principais características físicas de solo, está a sua estrutura, diretamente ligado a atributos físicos como a densidade, porosidade e resistência do solo à penetração. Este trabalho teve por objetivo avaliar o potencial de doze espécies de cobertura na melhoria do estado estrutural, através de avaliações da densidade e resistência do solo à penetração e seus reflexos no rendimento de grãos e de óleo na cultura do crambe. O experimento foi realizado no Núcleo Experimental de Engenharia Agrícola (NEEA), da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE). As espécies recuperadoras foram denominadas tratamentos e consistiram de doze espécies, sendo elas: crotalaria juncea, crotalaria spectabilis, feijão guandú, feijão de porco, capim moha, sorgo forrageiro, feijão lab-lab, guandú anão, mucuna preta, mucuna cinza, mucuna anã e mucuna verde, além da testemunha (área de pousio). O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com 4 repetições e parcelas experimentais de 5x5 m. Quando as espécies se encontravam em pleno florescimento, em maio de 2010, foram manejadas via dessecação, com o uso de herbicida de ação total, com posterior roçada, de forma a acelerar a velocidade de decomposição de suas raízes. Em Agosto de 2011 realizou-se o plantio de crambe para posterior análise do seu rendimento de grãos e de óleo. Em Janeiro de 2012, realizaram-se as coletas de amostras de solo, para avaliações de densidade do solo pelo método do anel volumétrico, nas profundidades de 0,0-0,1; 0,1-0,2 e 0,2-0,3m. A resistência do solo à penetração foi determinada através de um penetrômetro, do tipo Penetrolog – PLG 1020 (Falker). Foram realizadas coletas com cinco repetições em cada unidade experimental, até 0,4m de profundidade. Para determinação do rendimento de grãos, colheu-se na parte central de cada unidade experimental uma área de 4m<sup>2</sup>. Para a determinação do conteúdo de óleo nas sementes, foi utilizado o método Soxhlet. As análises estatísticas para variáveis de solo (densidade e resistência do solo à penetração) e de planta (rendimento de grãos e de óleo), constaram da análise de variância (ANOVA) e para comparação de médias de tratamentos foi utilizado o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Também foram realizadas análises de regressão linear entre os dados de rendimento de grãos e rendimento de óleo, rendimento de grãos e densidade do solo, utilizando o Excel®. As espécies Crotalaria Spectabilis e Mucuna verde apresentaram redução significativa de Ds em comparação à área de pousio, mostrando potencial estruturante superior às demais espécies após o primeiro ano de uso.

**PALAVRAS-CHAVE:** estrutura do solo, densidade do solo, resistência do solo a penetração.

ROSA, Helton Aparecido. MSc, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Janeiro de 2013. **Potencial estruturante de espécies de cobertura em um latossolo argiloso e seus reflexos no rendimento de grãos e de óleo do crambe.** Professor Orientador Dr. Deonir Secco.

### **ABSTRACT**

For a good crop development, soil must play their roles perfectly, and the principal is to support the growth of roots for good plant growth. The main physical characteristics of soil, its structure is directly linked to physical attributes such as density, porosity and resistance to penetration. This study aimed to evaluate the potential of twelve species coverage in improving the structural state, by evaluating the bulk density and resistance to penetration and its effects on yield and oil in the culture of Crambe. The experiment was conducted at the Experimental Center of Agricultural Engineering (NEEA), State University of Western Paraná (UNIOESTE). The species were named reclaimers and treatments consisted of twelve species reclaimers, namely: *Crotalaria juncea*, *Crotalaria spectabilis*, Feijão guandú, Feijão de porco, Capim moha, Sorgo forrageiro, Feijão lab-lab, Guandú anão, *Mucuna preta*, *Mucuna cinza*, *Mucuna anã* e *Mucuna verde*, and the control area (fallow). The experimental design was a randomized block design with four replications and plots of 5x5 m. When species were in full bloom, in May 2010, were managed via desiccation, with the use of herbicide action total, with subsequent mowing, in order to accelerate the rate of decomposition of roots. In August 2011 there was the planting of crambe for further analysis of its seed yield and oil. In January 2012, there were collections of soil samples for evaluation of soil bulk density by volumetric ring method (Embrapa, 1997), at depths of 0.0-0.1, 0.1-0.2 and 0.2-0.3 m. The resistance to penetration was measured using a penetrometer, type Penetrolog - PLG 1020 (Falker). Sampling was done with five replicates in each experimental unit, up to 0.4 m deep. To determine the yield, was collected in the central part of each experimental unit area of 4m<sup>2</sup>. For determining the oil content in the seeds was used Soxhlet method. Statistical analyzes for soil variables (density and resistance to penetration) and plant (seed yield and oil), consisted of analysis of variance (ANOVA) and comparison of treatment means was used Tukey test at 5% probability. Were also performed linear regression analysis between the data of grain yield and oil yield, grain yield and soil density using Excel ®. The species *Crotalaria spectabilis* and *Mucuna green* Ds showed significant reduction compared to the fallow, showing potential structuring superior to other species after the first year of use.

**KEYWORDS:** soil structure, bulk density, soil penetration resistance.

## ÍNDICE

<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>vii</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>viii</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>ix</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>x</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>3</b>
2.1 ESTRUTURA DO SOLO.....	3
2.1.1 DENSIDADE DO SOLO .....	4
2.1.2 RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO .....	5
2.2 COMPACTAÇÃO DO SOLO .....	6
2.3 DESCOMPACTAÇÃO DO SOLO .....	7
2.4 PLANTAS RECUPERADORAS DE ESTRUTURA DO SOLO .....	8
2.5 CRAMBE ( <i>Crambe abyssinica</i> Hochst).....	11
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>13</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>16</b>
4.1 DENSIDADE DO SOLO.....	16
4.2 RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO.....	17
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>21</b>
<b>6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>22</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A cultura do crambe (*Crambe abyssinica* Hochst) é original do mediterrâneo e chegou ao Brasil primeiramente para ser utilizada como espécie de cobertura, mas ao longo dos anos descobriu-se o seu alto teor de óleo, o que propicia uma grande alternativa de destino para sua produção. Esse óleo está sendo utilizado de duas maneiras principais: como isolante em transformadores e como matéria prima para a produção de biodiesel.

Para um bom desenvolvimento das culturas, a exemplo do crambe, o solo deve desempenhar perfeitamente as suas funções, sendo que a principal é a de dar suporte ao crescimento de raízes para desenvolvimento das plantas. Dentre as principais características físicas de um solo, está a sua estrutura, diretamente ligado a atributos físicos como a densidade, porosidade e resistência do solo à penetração, que são responsáveis pela infiltração de água e conseqüentemente podem refletir no desenvolvimento das raízes e das plantas.

O manejo do solo pode provocar alterações em seus atributos físicos, o que pode acarretar perda na sua qualidade estrutural e afetar tanto o ambiente como a economia. Assim, o monitoramento dos atributos físicos do solo podem contribuir para avaliar o impacto de sistemas de manejo e dessa forma contribuir para uma agricultura sustentável.

O plantio direto, que é o sistema de manejo do solo mais utilizado no Brasil, é de grande importância para a conservação do solo se adotado corretamente. Mas o não revolvimento do solo, aliado a seu mau uso pode acarretar problemas como a compactação.

Essa compactação é a alteração na estrutura do solo causada principalmente tráfego de máquinas e implementos agrícolas em condições de umidade elevada. Seus principais efeitos está associado a redução da porosidade, fazendo com que as raízes das plantas tenham dificuldade de se desenvolver.

Existem meios mecânicos de aliviar a compactação por meio de escarificação, mas esse processo embora rompa as camadas compactadas quando realizado de forma técnica adequada, torna o solo susceptível à novas compactações. Já o método biológico de se descompactar o solo trata-se do

uso de espécies de cobertura que possuam características de raízes capazes de crescer em solos com alta impedância.

A utilização de plantas de cobertura, protegem o solo contra a erosão, e também tem o objetivo de manter maior quantidade de matéria orgânica no solo, além de aliviar os efeitos da compactação por deixar bioporos estáveis em que as raízes das culturas sucessoras possam usufruir destes para crescer mais profundamente, conseqüentemente melhorando sua estrutura do solo.

Tendo em vista que o sistema plantio direto é o manejo que induz o solo a atingir maior estado de compactação, pela ausência do revolvimento aliado ao sistemático tráfego de máquinas e implementos agrícolas em condições de umidade elevada, é importante alterar o sistema de rotação incluindo espécies denominadas "recuperadoras" da estrutura do solo para melhoria do estado estrutural do solo. Assim, o objetivo do presente trabalho é avaliar o potencial de doze espécies de cobertura na melhoria do estado estrutural, através de avaliações da densidade e resistência do solo à penetração e seus reflexos no rendimento de grãos e de óleo na cultura do crambe.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 ESTRUTURA DO SOLO

A estrutura do solo refere-se ao agrupamento e organização de suas partículas em agregados e relaciona-se com a distribuição das partículas e agregados num volume de solo. Considerando que o espaço poroso é de importância similar ao espaço sólido, a estrutura do solo pode ser definida também pelo arranjo de poros pequenos, médios e grandes, com consequência da organização das partículas e agregados do solo (REINERT e REICHERT, 2006).

A estrutura e a textura são as propriedades físicas do solo consideradas mais importantes associadas ao crescimento das plantas. A natureza dinâmica da estrutura, no entanto, torna o conhecimento dos fatores e mecanismos de sua variação no espaço e no tempo de grande relevância na funcionalidade dos solos, pois, embora não seja considerada em si um fator de crescimento de plantas, exerce influência no suprimento de água e ar às raízes das culturas, na disponibilidade de nutrientes e na penetração e desenvolvimento das raízes (VIANA et al., 2004).

A estrutura, conceitualmente, não é fator de crescimento das plantas ou indicativo direto da qualidade ambiental. Porém, está relacionada indiretamente com praticamente todos os fatores que agem sobre eles. O suprimento de água, a aeração, a disponibilidade de nutrientes, a atividade microbiana e a penetração de raízes, dentre outros, são afetados pela estrutura dos solos (REINERT e REICHERT, 2006).

De acordo com Brandão et al. (2007) a textura e a estrutura são as características que mais influenciam na movimentação da água no solo. Aqueles de textura grossa (arenosos) possuem maior quantidade de macroporos do que os de textura fina (argilosos) e, conseqüentemente, apresentam, quando saturados, maiores valores de condutividade hidráulica e taxa de infiltração.

Um solo bem estruturado apresenta algumas características como: poros adequados para a entrada de ar e água no solo; porosidade adequada para que a água se movimente através do solo e para o crescimento das culturas após a germinação, permitindo assim uma boa drenagem do solo e

que as raízes explorem maior volume de solo em busca de ar, água e nutrientes e resistência à erosão pela alta agregação (REINERT e REICHERT, 2006).

A qualidade do solo se relaciona com sua capacidade de desempenhar múltiplas funções, das quais se destaca a produção de alimentos e de fibras. O aspecto fundamental da funcionalidade do solo vem a ser a qualidade de sua estrutura ou arranjo das partículas primárias em agregados e da estabilidade da agregação. A estrutura do solo funcional se caracteriza pela ocorrência de grandes agregados estáveis que originam macroporos também estáveis, que permitem a livre passagem de ar e de água, e por onde as raízes das plantas podem facilmente encontrar os caminhos para seu crescimento (MARQUES, 2006).

A estabilidade de agregados é determinada por agentes cimentantes, tais como a matéria orgânica e os óxidos de Fe (hematita e goethita) e Al (gibbsite). Os óxidos de Fe são os minerais secundários, produto final do intemperismo avançado dos solos. Dessa forma, quanto maior a presença desses compostos no solo, tanto mais estável será a sua estrutura (BRANDÃO et al., 2007).

A densidade do solo, a porosidade total e a resistência à penetração podem caracterizar o estado de compactação dos solos. O valor desses atributos varia entre solos e estados de compactação. Valor de densidade que indique elevado estado de compactação em determinado solo argiloso pode representar menor estado de compactação em solo arenoso. Comparações entre solos são facilitadas quando a densidade ou porosidade é relacionada à densidade ou porosidade do solo em algum estado de referência (SUZUKI et al., 2007).

### 2.1.1 DENSIDADE DO SOLO

A densidade do solo ( $D_s$ ) é importante atributo físico dos solos, por fornecer indicações a respeito do estado de sua estrutura, sobretudo em sua influência em propriedades como infiltração e retenção de água no solo, desenvolvimento de raízes, trocas gasosas e suscetibilidade desse solo aos processos erosivos, e também sendo largamente utilizada na avaliação da compactação e/ou adensamento dos solos (GUARIZ et al., 2009).

O aumento da densidade pode condicionar novo arranjo e acomodamento das partículas do solo favorecendo o contato entre elas, aumentando a resistência à penetração e diminuindo a porosidade do solo (LIMA et al., 2007). A elevação da densidade do solo prejudica o desenvolvimento das plantas, ocasiona aumento da resistência à penetração de raízes, altera a movimentação de água e nutrientes e a difusão de oxigênio e outros gases, levando ao acúmulo de CO<sub>2</sub> e de fitotoxinas (SILVA; BARROS; COSTA, 2007).

Os valores normais para solos arenosos variam de 1,2 à 1,9 Mg m<sup>-3</sup>, enquanto solos argilosos tem valores mais baixos, de 0,9 à 1,7 Mg m<sup>-3</sup>. Valores de Ds associados ao estado de compactação com alta probabilidade de oferecer riscos de restrição ao crescimento radicular situam-se em torno de 1,65 Mg m<sup>-3</sup> para solos arenosos e 1,45 Mg m<sup>-3</sup> para solos argilosos

### 2.1.2 RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO

A resistência do solo à penetração (Rs) tem sido utilizada, ao longo de muitos anos, com inúmeras aplicações em diversas áreas da pesquisa agrônoma, sendo várias já consolidadas, tais como: detecção de camadas com maior estado de resistência, em estudo da ação de ferramentas de máquinas no solo, prevenção de impedimento ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas, predição da força de tração necessária para execução de trabalhos e para conhecimento de processos de umedecimento e ressecamento (ASSIS et al., 2009).

Ela está relacionada com a permanência da continuidade dos poros. Sendo que poros formados pela ação das raízes no solo são mais estáveis, pois a decomposição dessas por microrganismos gera materiais que atuam como cimentantes nas paredes desses poros, proporcionando maior durabilidade, se comparados com aqueles formados por implementos mecânicos (GENRO JUNIOR; REINERT; REICHERT, 2004).

De acordo com Mercante et al. (2003) a resistência do solo à penetração é uma propriedade física relativamente fácil de ser obtida e, de certa forma, de ser correlacionada com a densidade e com a macroporosidade. Para um mesmo solo, quanto maior for a densidade do solo, maior será a resistência à penetração e menor será a macroporosidade, que é o principal

espaço para o crescimento das raízes. Deve ser levado em conta, no entanto, que a resistência do solo é mais afetada pela variação nos conteúdos de umidade do solo no momento da amostragem do que pela densidade do solo.

É recomendado que a resistência do solo a penetração seja medida com o teor de água próximo à capacidade de campo, situação em que se consegue boa correlação entre a densidade do solo, a resistência à penetração e o crescimento radicular. No entanto, o período em que o solo permanece na capacidade de campo é pequeno, de modo que a resistência do solo pode rapidamente variar de níveis não impeditivos para impeditivos com a secagem do mesmo (ASSIS et al., 2009).

Segundo Beutler et al. (2001) o valor de resistência do solo à penetração de 2 MPa aceito como limitante ao crescimento das raízes e da parte aérea, tem sido questionado para as diversas culturas e classes de solo sob diferentes sistemas de manejo.

O aumento da resistência do solo à penetração pode ser restritivo ao crescimento radicular, quando acima de valores, que variam de 1,5 a 4,0 MPa (SILVA; BARROS; COSTA, 2006).

## 2.2 COMPACTAÇÃO DO SOLO

A compactação do solo é o processo em que a porosidade e a permeabilidade são reduzidas, a resistência é aumentada e muitas mudanças ocorrem na estrutura do solo (SOANE e OUWERKERK, 1994).

Para Assis et al. (2009) a compactação pode ser definida como sendo a alteração na estrutura física do solo de modo a reduzir os espaços internos que normalmente são ocupados por água e ar, o que proporciona restrição ao crescimento radicular, afeta a infiltração e a condutividade hidráulica, além de promover alterações nos processos químicos e biológicos no solo, o que segundo Silva e Cabeda (2006) resulta em massa coesa da matriz do solo.

Essas alterações nas propriedades físicas do solo são decorrentes da compactação e afetam suas propriedades hídricas. Os fatores preponderantes do solo que determinam seu comportamento, quando submetidos à compactação, são a granulometria, o teor de matéria orgânica e a umidade do solo, além do estado de compactação inicial (SILVA et al., 2000).

A compactação se expressa pelo aumento da densidade do solo e pela redução do seu espaço poroso em resposta ao histórico de cargas ou pressões exercidas na sua superfície, especialmente em elevada umidade. Em solo compactado, o sistema radicular concentra-se próximo da superfície, tornando as plantas mais susceptíveis a déficits hídricos e com menor eficiência em absorver os nutrientes (NICOLOSO et al., 2008).

O solo é considerado compactado quando a proporção de macroporos em relação à porosidade total é inadequada para o eficiente desenvolvimento da planta. O solo ideal é aquele que tem a porosidade total de 50%, cerca de 17% de macroporos ocupados pelo ar do solo, e de 33% de microporos responsáveis pela retenção de água (ASSIS et al., 2009).

Em alguns locais a compactação reduz a produtividade das plantas. Efeitos mais pronunciados desse problema são observados quando o solo é cultivado sob sucessão de culturas. Em sistemas com rotação de culturas e uso de plantas de cobertura, pode melhorar a qualidade química e física do solo. Em grau elevado de compactação, métodos mecânicos como escarificação ou subsolagem são necessários, mas a redução da compactação observada no primeiro ano após a mobilização não foi observada no segundo ano (REINERT et al., 2008).

Em consequência da compactação, há alteração estrutural do solo devido à reorganização das partículas e de seus agregados, o que aumenta a densidade e resistência do solo à penetração e reduz a macroporosidade, inibindo assim o crescimento e o desenvolvimento radicular das plantas. Essa resposta das plantas é mais facilmente observada quando ocorre precipitação pluvial irregular no período de cultivo (COLLARES et al., 2006).

### 2.3 DESCOMPACTAÇÃO DO SOLO

Em sistema plantio direto, o rompimento da camada compactada do solo pode ser promovido por processos mecânicos e/ou biológicos. No método mecânico, dá-se preferência para equipamentos com hastes, pois operam abaixo da camada compactada, possuem menor superfície de contato e apresentam menor desagregação e mobilização do solo, mantendo grande parte das vantagens promovidas pelo plantio direto. Benefícios importantes têm sido observados na estruturação do solo, em médio e longo prazos, com a

utilização de plantas de cobertura com alto potencial de fixação de carbono e que possuem sistema radicular volumoso e agressivo (CALONEGO; ROSOLEM, 2008).

Nicoloso et al. (2008) afirma que a escarificação mecânica tem sido sugerida para aliviar a compactação do solo em áreas de plantio direto consolidado, pois reduziu a densidade do solo e melhorou a condutividade hidráulica e a taxa de infiltração de água. No entanto, o seu efeito é temporário e o solo escarificado tende a se reconsolidar, retornando em pouco tempo à sua condição original exigindo a repetição da operação regularmente. Secco e Reinert (1997) observaram que o efeito residual da escarificação em um Latossolo de textura muito argilosa do Rio Grande do Sul (RS) não foi superior a 10 meses.

A melhoria das condições físicas do solo tem reflexos positivos na produtividade das culturas, porém o aumento da porosidade total promovida pela ação de implementos mecânicos de mobilização do solo e de rompimento da compactação não garante o maior crescimento das raízes, pois destrói a continuidade dos macroporos (CALONEGO; ROSOLEM, 2008).

A semeadura de plantas de cobertura do solo com sistema radicular abundante e vigoroso pode ser uma alternativa aos métodos mecânicos com benefícios adicionais por reciclarem nutrientes no perfil, aportarem matéria orgânica e melhorarem a estabilidade dos agregados, conferindo ao solo maior porosidade e menor resistência mecânica (REINERT, et al, 2008).

Para melhorar a qualidade estrutural do solo, o uso de rotação de culturas com espécies que tenham sistema radicular vigoroso, com capacidade de crescer em solos com alta resistência à penetração, criando poros por onde as raízes da cultura subsequente possam crescer, é uma ótima alternativa. O uso de plantas recuperadoras para descompactar o solo bem como melhorar sua estrutura, beneficiando o crescimento da planta, é uma maneira eficaz de conservação do solo.

#### 2.4 PLANTAS RECUPERADORAS DE ESTRUTURA DO SOLO

A prática de recuperar, ou seja, descompactar o solo, de maneira biológica se dá pelo uso de plantas recuperadoras, também conhecidas como plantas descompactadoras, adubo verde e plantas de cobertura.

A utilização de práticas conservacionistas de manejo do solo tem recebido grande ênfase atualmente, basicamente no que se refere à manutenção e à melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos cultivados e suas implicações no rendimento das culturas (ARGENTON , 2005).

Assim, práticas que buscam o aporte contínuo e abundante de matéria orgânica ao solo, associadas a métodos conservacionistas de preparo, são de fundamental importância na recuperação de solos fisicamente degradados (PORTELA et al., 2010).

As plantas recuperadoras são conhecidas desde a antiguidade, podendo ser definidas como a utilização de espécies vegetais com a finalidade de reciclar nutrientes do solo e fixar nitrogênio atmosférico quando do emprego de leguminosas (DUARTE JUNIOR e COELHO, 2008).

Foloni et al., (2006) denominam “plantas descompactadoras” aquelas que apresentam raízes com capacidade elevada de penetração em camadas de solo com alta impedância mecânica.

As plantas de cobertura são cultivadas visando à proteção do solo contra erosão e perda de nutrientes. Manter a superfície do solo permanentemente coberta por materiais vegetais em fase vegetativa ou como resíduo é, efetivamente, o manejo mais recomendado para a proteção e conservação do solo. O uso das plantas de cobertura nas estratégias de manejo de resíduos oferece benefícios frequentemente atribuídos aos adubos verdes (SUZUKI e ALVES, 2006).

A rotação de culturas tem sido destacada por promover melhorias às condições físicas, químicas e biológicas do solo, como proteção contra erosão, maior espaço poroso e da taxa de infiltração de água e aumento da capacidade de retenção de água, incremento da capacidade de reciclagem e mobilização de nutrientes lixiviados ou pouco solúveis em camadas mais profundas do solo. Ela também propicia melhor aproveitamento de adubos químicos e redução nos custos com adubação mineral, uma vez que promove aumento da atividade biológica do solo, promovendo o controle de plantas daninhas e dos patógenos das plantas cultivadas. (CARVALHO et al., 2007).

Mais vantagens relacionadas ao uso das plantas de cobertura são citadas por Duarte Junior e Coelho (2008) como: a cobertura do solo por essas espécies pode determinar aumento no rendimento das culturas comerciais, considerando a manutenção da umidade do solo, a diminuição das temperaturas máximas, da amplitude térmica, a reciclagem de nutrientes como P, K, Ca, Mg e S.

A bioporosidade criada pela atividade radicular e mesofauna do solo e a possibilidade das raízes de algumas culturas penetrarem camadas mais compactadas, têm sido o motivo de se considerar a rotação de culturas fundamental no sistema plantio direto (ANDRADE et al., 2009).

Segundo Calonego e Rosolem (2008) os exsudados orgânicos liberados pelas raízes também possuem função cimentante das partículas do solo. Esse incremento dos compostos orgânicos, além do efeito direto na agregação do solo, serve de energia para a atividade microbiana, que libera moléculas orgânicas como subprodutos do metabolismo (ácidos húmicos e polissacarídeos), que também irão atuar como agentes aglutinadores dos grânulos minerais.

As leguminosas apresentam sistema radicular profundo e ramificado, permitindo maior extração e reciclagem de outros nutrientes, assim como melhor aproveitamento dos fertilizantes aplicados (PERIN et al., 2006).

Nascimento et al. (2003) afirma que o uso de adubação verde é uma prática viável por contribuir para o restabelecimento do equilíbrio do sistema e, conseqüentemente, aumento da produtividade.

Em pesquisa realizada por Nascimento et al. (2003) foi constatado que as leguminosas contribuíram para diminuir a acidez do solo, elevando o pH no perfil estudado, atuando também na elevação dos teores de nutrientes no solo, como potássio e magnésio, na profundidade de 0 - 10 cm.

Aita et al. (2001) estudando o potencial de plantas de cobertura de solo para o fornecimento de nutrientes, relataram maior eficiência das espécies de leguminosas em acumular nitrogênio na parte aérea, quando comparadas com as espécies gramíneas.

Para o sucesso dessa cobertura de solo, a planta deve satisfazer certas exigências: ser fácil de estabelecer; ter rápida taxa de crescimento bem como fornecer cobertura ao solo rapidamente; produzir quantidade suficiente

de massa seca para manutenção de resíduos; ser resistente a doenças e não atuar como hospedeira de doenças da cultura econômica; fácil de exterminar e ser economicamente viável (SUZUKI e ALVES, 2006). Dessa forma, a escolha de espécies de cobertura e seu adequado manejo poderão proporcionar melhor efeito na recuperação solo.

A cobertura vegetal tornou-se fator de importância para a proteção do solo e à formação de palha, com redução significativa dos prejuízos e contribuição na melhoria dos atributos físicos, químicos e biológicos (CARNEIRO et al., 2008).

## 2.5 CRAMBE (*Crambe abyssinica* Hochst)

O crambe (*Crambe abyssinica* Hochst.) surge como uma planta com grande potencial de produção de óleo para à fabricação de biodiesel. Possuindo entre as principais características a tolerância a baixas temperaturas por algumas horas sem maiores danos (FOWLER, 1991). Quando está no período vegetativo necessita temperaturas que variam de 15 °C a 25 °C (FALASCA et al., 2010)

Pesquisas com o crambe no Brasil iniciaram-se pela Fundação MS como o objetivo de avaliar o seu comportamento como cultura para cobertura do solo em sistema plantio direto (PITOL, 2008). Quanto à escolha da espécie oleaginosa utilizada no experimento, o recente estímulo à produção e uso do biodiesel fizeram com que a cultura do crambe voltasse a ser avaliada, por isso direcionamos o estudo para a produção da mesma.

O crambe é membro da família Brassicaceae, tribo Brassicaceae, próximo à canola e à mostarda. O gênero *Crambe* contém cerca de trinta espécies, a maioria ervas perenes, embora algumas sejam arbustos ou anuais, distribuídas principalmente na região do Mediterrâneo, Euro-Sibéria e na região Turco-Iraniana. O único membro cultivado é o *Crambe abyssinica*, também conhecido como Abyssinian kale (DESAI, 2004). É considerada uma planta herbácea anual, com aproximadamente um metro de altura, cuja haste ramifica-se próxima ao solo para formar trinta ou mais galhos, que novamente se ramificam, formando galhos terciários (DESAI et al., 1997). Devido as suas exigências climáticas o crambe é uma cultura para ser utilizada na safrinha e está se adaptando bem em Mato Grosso do Sul e Paraná.

A produção de biodiesel nacional encontra-se alicerçada em culturas anuais, principalmente de ciclo primavera/verão, faltando alternativas para o outono/inverno a fim de dar continuidade à produção de biodiesel, além de fazer o papel da rotação de cultura. O crambe surge como cultura de inverno com grande potencial para a produção de matéria-prima para biodiesel, além possibilitar a sua utilização na rotação de cultura (JASPER et al., 2010).

Com cerca de 38% de óleo em base seca, a oleaginosa produz em média entre 1.000 e 1.200 kg ha<sup>-1</sup> de grãos, ou perto de 400 kg ha<sup>-1</sup> de óleo (ROSCOE E DELMONTES, 2008).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Núcleo Experimental de Engenharia Agrícola (NEEA), da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), localizado no município de Cascavel – Paraná, latitude 24°53'47”S e longitude 53°32'09”W, com temperatura média anual de 1.400 mm e temperatura média de 19°C. O solo é um Latossolo Vermelho Distroférico, textura argilosa a muito argilosa, relevo suave ondulado, substrato basalto (Embrapa, 2006). O clima da região apresenta-se como temperado mesotérmico e superúmido, tipo climático Cfa (koeppen). (CASCAVEL, 1995).

A semeadura das espécies de cobertura foi realizada no mês de Dezembro de 2009, utilizando semeadora-adubadora para realização do sulcamento da linha de plantio, com posterior semeadura de forma manual na linha de sulcamento.

As espécies recuperadoras foram denominadas tratamentos e consistiram de doze espécies recuperadoras, sendo elas: *Crotalaria juncea* (*Crotalaria juncea*), *Crotalaria spectabilis* (*Crotalaria spectabilis*), Feijão guandú (*Cajanus cajan*), Feijão de porco (*Canavalia ensiformis*), Capim moha (*Setaria itálica*), Sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor*), Feijão lab-lab (*Dolichos lab lab*), Guandú anão (*Cajanus cajan*), Mucuna preta (*Mucuna aterrimum*), Mucuna cinza (*Mucuna Pruriens*), Mucuna anã (*Mucuna deeringiana*) e Mucuna verde (*Mucuna aterrima*), além da testemunha (área de pousio).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com 4 repetições e parcelas experimentais de 5x5 m.

Quando as espécies se encontravam em pleno florescimento, em maio de 2010, foram manejadas via dessecação, com o uso de herbicida de ação total, com posterior roçada, de forma a acelerar a velocidade de decomposição de suas raízes.

Após a dessecação das espécies de cobertura, em novembro de 2010, implantou-se a cultura da soja que foi negativamente afetada pela forte estiagem ocorrida. Posteriormente à soja, em abril de 2011, implantou-se a cultura do crambe que foi eliminada pela geada ocorrida durante o inverno. Em agosto de 2011 realizou-se nova semeadura da cultura do crambe, na qual realizaram-se as avaliações de rendimento de grãos e de óleo.

Em Janeiro de 2012, realizaram-se as coletas de amostras de solo, para avaliações de densidade do solo pelo método do anel volumétrico (Embrapa, 1997), nas profundidades de 0,0-0,1; 0,1-0,2 e 0,2-0,3m.

A resistência do solo à penetração foi determinada através de um penetrômetro, do tipo Penetrolog – PLG 1020 (Falker), com armazenamento eletrônico de dados. Foram realizadas coletas com cinco repetições em cada unidade experimental, até 0,4m de profundidade.

Para determinação do rendimento de grãos, colheu-se na parte central de cada unidade experimental uma área de 4m<sup>2</sup>. O processo de trilha ocorreu por impacto do material dentro de sacas de 50 kg e posterior debulha manual.

Em laboratório, realizou-se a retirada de impurezas e limpeza das sementes, com auxílio de alguns acessórios, como, peneiras em aço inox redondas, com borda de 2” de altura por 8” de diâmetro, uma com espaçamento de tela de 0,25 cm e outra com 0,5 cm.

Após a limpeza, as amostras foram pesadas em uma balança semi-analítica com precisão de 2 casas decimais, devidamente aferida pelo Inmetro e calibrada.

A extração do óleo de crambe foi realizada no Laboratório de Análises A3Q, em Cascavel - Pr. Para isso foram escolhidas aleatoriamente sementes de cada amostra dos diferentes tratamentos. Elas foram trituradas para aumentar a superfície de contato com o solvente, e submetidas a um processo de secagem para que fosse retirada a sua umidade, utilizando uma estufa a 105°C por 24h.

Para a determinação do conteúdo de óleo nas sementes, foi utilizado o método Soxhlet, realizado com base em procedimentos adaptados da norma analítica do Instituto Adolfo Lutz (PREGNOLATO e PREGNOLATO, 1985),

As sementes foram trituradas usando mixer portátil, em seguida foram pesadas 5 g da amostra em papel de filtro e transferidas para o cartucho do aparelho extrator tipo Soxhlet. O balão de fundo chato foi acoplado ao extrator, sendo adicionados 200 mL do solvente Hexano. A chapa aquecedora foi ligada a temperatura constante e a extração foi realizada de forma contínua por 8 horas (quatro a cinco gotas por segundo). Retiraram-se os cartuchos e o solvente foi destilado e transferido para um balão com o resíduo extraído para

estufa a 105°C, mantidos por cerca de uma hora. Após resfriou-se em dessecador até a temperatura ambiente, e pesou-se o balão de fundo chato.

O cálculo do teor de óleo foi feito através da fórmula:  $100 \times N/P = \text{lipídios ou extrato etéreo por cento m/m}$

Onde: N = n° de gramas dos lipídeos

P = n° de gramas da amostra

As análises estatísticas para variáveis de solo (densidade e resistência do solo à penetração) e de planta (rendimento de grãos e de óleo), constaram da análise de variância (ANOVA) e para comparação de médias de tratamentos foi utilizado o teste de Tukey a 5% de probabilidade que foram executadas através do “software livre” Sisvar versão 5.3.

Também foram realizadas análises de correlação linear entre os dados de rendimento de grãos e rendimento de óleo, rendimento de grãos e densidade do solo, utilizando o Excel®.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 DENSIDADE DO SOLO

Os valores médios de densidade do solo para as 3 profundidades em 12 espécies de cobertura, mais a área sem cultivos estão apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Valores médios de densidade do solo ( $\text{Mg m}^{-3}$ ) sob três profundidades e doze espécies de cobertura vegetal e área sem cultivo (média de quatro repetições)

Espécie de Cobertura	Profundidade (m)		
	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.3
Pousio	1,25Aa	1,21ABa	1,11Ba
C. Spectabilis	1,08Bb	1,19Aa	1,19Aa
Feijão de Porco	1,19Aab	1,23 Aa	1,15 Aa
Mucuna Preta	1,15 Aab	1,19 Aa	1,15 Aa
Mucuna Anã	1,17 Aab	1,17 Aa	1,15 Aa
C. Juncea	1,15 Aab	1,19 Aa	1,14 Aa
Feijão Guandú	1,20 Aab	1,19 Aa	1,14 Aa
Mucuna Cinza	1,13 Aab	1,15 Aa	1,14 Aa
Lab Lab	1,19 Aab	1,17 Aa	1,11 Aa
Capim Moha	1,17 Aab	1,20 Aa	1,19 Aa
Guandú Anão	1,13 Aab	1,13 Aa	1,11 Aa
Sorgo	1,16 Aab	1,15 Aa	1,12 Aa
Mucuna Verde	1,07 Ab	1,13 Aa	1,14 Aa
DMS linha	0,108		
DMS coluna	0,155		
CV (%)	5,60		

Médias de tratamentos seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna e maiúscula na linha, diferem pelo Teste Tukey a 5% de significância.

Em relação a Ds para a primeira camada, de 0-0,10m o tratamento que propiciou os menores valores médios foram a *Crotalaria Spectabilis* e a *Mucuna verde*, as quais diferiram da área sem cultivo (pousio) e foram estatisticamente semelhantes as demais espécies de cobertura, obtendo um valor médio respectivamente de 1,08 e 1,07  $\text{Mg m}^{-3}$ . Já para as camadas de 0,10-0,20 e 0,20-0,30m, não foram encontradas diferenças estatísticas entre os tratamentos analisados. Para a comparação de médias dentro de cada tratamento nas diferentes camadas, todas as profundidades se mantiveram semelhantes estatisticamente, em exceto para a área de pousio que na camada de 0,20-0,30m obteve um menor valor em relação as outras camadas e foi considerado estatisticamente diferente. Assim como a *Crotalaria*

Spectabilis que obteve média de  $1,08 \text{ Mgm}^{-3}$  para a primeira camada de 0-0,10m, e diferiu das demais camadas onde os valores encontrados foram de  $1,19 \text{ Mg m}^{-3}$ .

Houve uma sensível redução da densidade do solo em praticamente todos os tratamentos a se comparar a área sem cultivo, ou seja, todas as plantas de cobertura tiveram boas características na melhoria do estado estrutural do solo, o que ocasionou a redução da densidade do solo. As espécies que se destacaram e onde foram constatadas diferenças estatísticas foram a *Crotalaria Spectabilis* e a *Mucuna* verde.

De acordo com Calegari et al. (1993), a *crotalaria spectabilis* possui raiz pivotante e profunda capaz de romper camadas compactadas e, que ao se decomporem, favorecem as culturas subseqüentes permitindo a extensão dos seus sistemas radiculares pelos canais produzidos.

Carvalho et al. (2002) também destacam a grande habilidade dessa espécie em explorar maior volume de solo em profundidade em virtude dos “bioporos” formados que contribuem para aumentar o movimento de água no solo e a difusão de gases.

Os resultados da pesquisa estão de acordo com Nascimento et al. (2005), que em um Luvisolo Crômico Pálico abrupto sob plantio direto utilizando por três anos o cultivo das espécies de cobertura: Feijão guandu, Lab-lab, *Mucuna* preta, *Mucuna* cinza, *Crotalaria juncea* e Feijão de porco, não observaram alterações nos valores de Ds.

#### 4.2 RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO

Os valores médios de resistência do solo a penetração (Rs) estão apresentados na Tabela 2.

Na primeira camada, compreendida entre 0-0,10m, observa-se que não foram encontradas diferenças significativas entre as espécies avaliadas. De maneira geral, essa camada apresentou os menores valores de resistência à penetração do solo, se compara às demais camadas, fato esse atribuído possivelmente pela mobilização do solo causada pelos mecanismos sulcadores das semeadoras. Cunha et al. (2007) ao revolvimento propiciado pelo plantio direto nessa camada e pelo maior aporte de matéria orgânica, contribuindo para a maior agregação do solo.

**Tabela 2.** Valores médios de resistência do solo à penetração (MPa) sob quatro profundidades e doze espécies de cobertura e área sem cultivo. (média de quatro repetições)

Espécie de Cobertura	Profundidade (m)			
	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.3	0.3-0.4
Pousio	2,21Ba	3,57Ab	2,53Ba	2,16Ba
C. Spectabilis	2,21Ba	3,40 Ab	2,41Ba	2,23Ba
Feijão de Porco	2,11Aa	2,87 Ab	2,28Aa	2,00Aa
Mucuna Preta	2,09Ba	3,52 Ab	2,46Ba	2,32 Ba
Mucuna Anã	1,76Ba	2,91 Ab	2,49ABa	1,97 Ba
C. Juncea	1,87Ba	2,91 Ab	2,31ABa	2,11ABa
Feijão Guandú	2,13Ba	3,86 Ab	2,61Ba	2,20 Ba
Mucuna Cinza	2,45ABa	3,10 Ab	2,11Ba	2,02 Ba
Lab Lab	2,36Ba	5,31Aa	2,81Ba	2,39 Ba
Capim Moha	2,41Ba	3,71 Ab	2,50Ba	2,16 Ba
Guandú Anão	2,06Ba	2,28 Ab	2,76ABa	2,41ABa
Sorgo	2,58Ba	3,59 Ab	2,56Ba	2,24 Ba
Mucuna Verde	2,34Ba	3,38 Ab	2,63ABa	2,33 Ba
DMS linha	0,89			
DMS coluna	1,15			
CV (%)	42,29			

Médias de tratamentos seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna e maiúscula na linha, diferem pelo Teste Tukey a 5% de significância. Umidade Gravimétrica: 0-0,1m – 27%, 0,1-0,2m – 28%, 0,2-0,3m – 28% e 0,3-0,4m – 29%.

Para a segunda camada, a espécie Lab Lab apresentou maior valor médio de Rs, de 5,31 MPa, e diferiu estatisticamente dos demais tratamentos.

Nas camadas de 0,2-0,3m e 0,3-0,4m não foram observadas diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos.

Para a camada de 0,30-0,40m todos os tratamentos foram considerados estatisticamente semelhantes. Genro Júnior et al. (2009) não observaram efeito positivo na diminuição da Rs, em três anos utilizando espécies de cobertura.

Verifica-se que, para todos os tratamentos a camada que apresentou os maiores valores de Rs foi a de 0,1-0,2m. Essa camada é a que sofre maiores deformações quando se trata de plantio direto, devido ao uso de máquinas em implementos em condições de umidade inadequada. Resultado que corrobora com Silva et al. (2000), que em plantio direto obtiveram maiores valores de Rs na camada de 0,07-0,17m. Assim como Tormena et al. (2004), que constataram maiores valores até aproximadamente 0,15 m de profundidade. Os valores médios de rendimento de grãos e de óleo para todos os tratamentos, assim como suas produções relativas estão mostrados na Tabela 3.

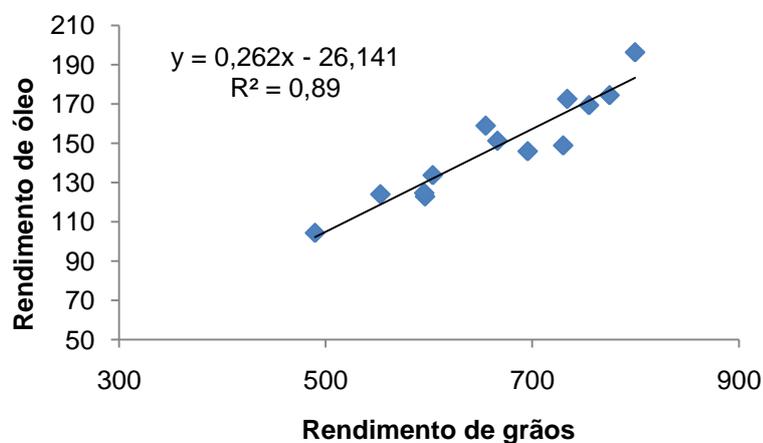
**Tabela 3.** Rendimento de grãos e de óleo da cultura crambe e produções relativas após o uso de 12 espécies de cobertura e área sem cultivo (Média de 4 repetições)

Espécie de cobertura	Rendimento de grãos (kg ha <sup>-1</sup> )	Produção relativa (grãos) (%)	Rendimento de óleo (kg ha <sup>-1</sup> )	Produção relativa (óleo) (%)
Pousio	490	100	104	100
C. Spectabilis	604	123	133	128
Feijão de Porco	596	122	123	118
Mucuna Preta	553	113	127	122
Mucuna Anã	775	158	173	166
C. Juncea	666	136	153	147
Feijão Guandú	655	134	160	154
Mucuna Cinza	696	142	154	148
Lab Lab	755	154	175	168
Capim Moha	596	122	125	120
Guandú Anão	800	163	191	184
Sorgo	734	150	176	169
Mucuna Verde	730	149	162	156
DMS	675		171	
CV (%)	40,33		45,58	

Não foram encontradas diferenças estatísticas entre os tratamentos pelo Teste Tukey a 5% de significância.

Observa-se que para o rendimento e produção relativa de grãos não foram encontradas diferenças estatísticas entre os tratamentos, possivelmente devido a grande variabilidade encontrada entre as repetições de um mesmo tratamento, já que o coeficiente de variação (CV) para ambos passou de 30%.

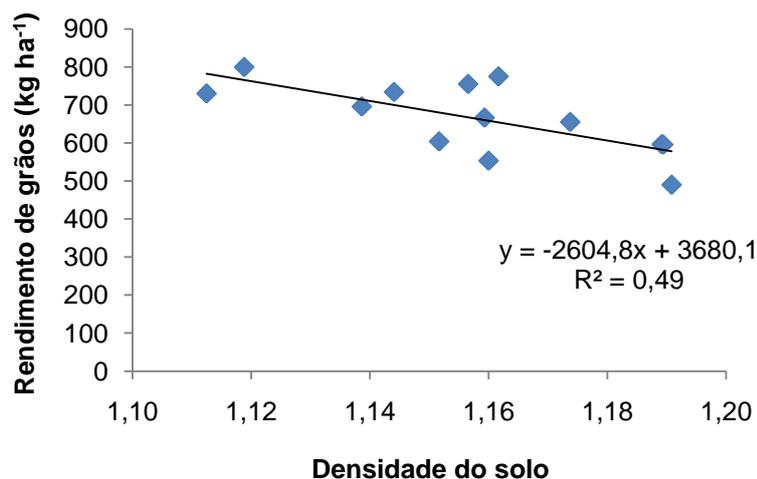
Na Figura 1 apresenta-se a regressão linear entre o rendimento de grãos e de óleo na cultura do crambe.



**Figura 1.** Correlação linear entre o rendimento de grãos (kg ha<sup>-1</sup>) e o rendimento de óleo (kg ha<sup>-1</sup>) da cultura do crambe.

Verifica-se que o rendimento de óleo, é influenciado pelo rendimento de grãos de forma linear em 89% ( $R^2 = 0,89$ ), o que mostra uma boa correlação existente entre as duas variáveis. Resultado este que está contrário ao encontrado por Lunelli (2012), onde obteve uma explicação linear fraca, de apenas 3,8% entre o rendimento de grãos e de óleo de crambe.

A Figura 2 apresenta a correlação linear entre a densidade do solo e o rendimento de grãos



**Figura 2.** Correlação linear entre o rendimento de grãos e a densidade do solo.

Verifica-se a baixa correlação existente entre essas variáveis, 49% ( $R^2 = 0,49$ ), o que implica numa baixa relação existente entre os valores de densidade do solo associados ao rendimento de grãos de crambe. Isso indica que a densidade do solo pouco afetou no rendimento de grãos de crambe.

## 5. CONCLUSÕES

As espécies *Crotalaria Spectabilis* e *Mucuna verde* apresentaram redução significativa de Ds em comparação à área de pousio, mostrando potencial estruturante superior às demais espécies após o primeiro ano de uso.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ANDRADE, R.S.; STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. Culturas de cobertura e qualidade física de um Latossolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 4, Aug. 2009.

ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE, A.; BAYER, C.; WILDNER, L.R. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de latossolo vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p.425-435, 2005.

ASSIS, R.L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; LANÇAS, K.P.; LAZARINI, G.D. Avaliação da resistência do solo à penetração em diferentes solos com a variação do teor de água. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 4, 2009

BEUTLER, A.N.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; CRUZ, J.C.; PEREIRA FILHO, I.A. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na Região dos Cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.167-177, 2001.

BRANDAO, V.S.; MARTINEZ, M.A.; PRUSKI, F.F.; SCHAEFER, C.E.G.R.; RUIZ, H.A.; SILVA, D.D., SILVA, E.O. Perdas de solo e caracterização física e micromorfológica de crostas formadas em solos sob chuva simulada. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, 2007.

CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULISANI, E.A ; WILDNER, L.P.; COSTA, M. B.; ALCÂNTARA, P. B.; MIYASAKA, S.; AMADO, T.J.C. **Adubação verde no Sul do Brasil**. Rio de Janeiro, 2ª edição, 1993, 346 p.

CALONEGO, J.C.; ROSOLEM, C.A. Estabilidade de agregados do solo após manejo com rotações de culturas e escarificação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa , v. 32, n. 4, 2008.

CARNEIRO, M.A.C.; ASSIS, P.C.R.; CORDEIRO, M.A.S; MORAES, E.S.; PAULINO, H.B.; PEREIRA, H.S.; SOUZA, E.D. Produção de fitomassa de diferentes espécies de cobertura e suas alterações na atividade microbiana de solo de cerrado. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 2, 2008

CARVALHO, M.A.C.; ALVES, M.C.; ARF, O.; SÁ, M.E.; SORATTO, R.P. Plantas de cobertura, sucessão de culturas e manejo do solo em feijoeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, 2007.

CARVALHO, S. R. L. de; REZENDE, J. O.; FERNANDES, J. C.; PEREIRA, A, P. Caracterização e avaliação de leguminosas e gramíneas com alto poder relativo de penetração de raízes em solo coeso dos tabuleiros costeiros do recôncavo baiano - ETAPA I. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 14, n. 1, 2002.

COLLARES, G.L.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. & KAISER, D.R. Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.1663-1674, 2006.

CUNHA, E. Q., BALBINO, L. C., STONE, L. F., LEANDRO, W. M. AND OLIVEIRA, G. C. 2007. Influência de rotações de culturas nas propriedades físico- hídricas de um Latossolo Vermelho em plantio direto. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, p.665-674, 2007.

DESAI, B. B.; KOTECHA, P.M.; SALUNKHE, D. K. **Seeds handbook: biology, production processing and storage**. New York, Marcel Dekker, 1997. 627 p.

DESAI, B.B. **Seeds handbook: biology, production processing and storage**. New York: Marcel Dekker, 2004. 787 p.

DUARTE JUNIOR, J.B.; COELHO, F.C. Adubos verdes e seus efeitos no rendimento da cana-de-açúcar em sistema de plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.3, 2008.

EMBRAPA: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de métodos de análise de solo. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA CNPS, 1997. 212p.

FALASCA, S.L.; LAMAS, M.C.; CARBALLO, S.M.; ANSCHAU, A. Crambe abyssinica: An almost unknown crop with a promissory future to produce biodiesel in Argentina. **International Journal of Hydrogen Energy**, v.35, p.5808-5812, 2010.

FOLONI, J.S.S.; LIMA, S.L.; BULL, L.T.. Crescimento aéreo e radicular da soja e de plantas de cobertura em camadas compactadas de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa , v.30, n.1, 2006.

FOWLER, J.L. Interaction of salinity and temperature on the germination of crambe. **Agronomy Journal**, v.83, p.169-172, 1991.

GENRO JUNIOR, S.A., REINERT, D.J., REICHERT, J.M.; ALBUQUERQUE, J. A. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho e produtividade de culturas cultivadas em sucessão e rotação. **Ciência Rural**, v.39, p.65-73, 2009.

GENRO JUNIOR, S. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.3, 2004.

GUARIZ, H. R.; PICOLI, M.H.S.; CAMPANHARO, W.A.; CECÍLIO, R.A. Variação da Umidade e da Densidade do Solo sob Diferentes Coberturas Vegetais. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Cruz Alta, v.4, n. 2, p.3293-3296, 2009.

JASPER, S.P.; BIAGGIONI, M.A.M.; SILVA,P.R.A. Comparação do custo de produção de crambe (*Crambe abyssinica* Hochst) com outras culturas oleagionas em sistema plantio direto. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v.25, n.4, p.141-153, 2010.

LIMA, C.L.R.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; SUZUKI, L.E.A.S.; DALBIANCO, L. Densidade crítica ao crescimento de plantas considerando água disponível e resistência à penetração de um Argissolo Vermelho distrófico arênico. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, n.4, 2007.

LUNELLI, I.E. **Efeitos de arranjos nutricionais de NPK na produtividade de grãos e rendimento de óleo da cultura do crambe**. Dissertação de Mestrado em Energia na Agricultura – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.

MARQUES, S.R. **Sistemas de manejo agrícola, qualidade do solo e o controle da erosão em parcelas experimentais**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola. Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas, 2006.

MERCANTE, E.; URIBE-OPAZO, M. A.; SOUZA, E. G.. Variabilidade espacial e temporal da resistência mecânica do solo à penetração em áreas com e sem manejo químico localizado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n.6, 2003 .

NASCIMENTO, J. T., SILVA, I. F., SANTIAGO, R. S. AND NETO, L. F. S. Efeito de leguminosas nos atributos físicos e carbono orgânico de um Luvisolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p.825-831, 2005.

NASCIMENTO, J.T.; SILVA, I.F., SANTIAGO, R.D.; SILVEIRA NETO, L.F.S. Efeito de leguminosas nas características químicas e matéria orgânica de um solo degradado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.3, 2003.

NICOLOSO, R.S.; AMADO, T.J.C.; SCHNEIDER, S.; LANZANOVA, M.R.; GIRARDELLO, V.C.; BRAGAGNOLO, J. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.4, 2008.

PERIN, A.; BERNARDO, J.R.; SANTOS, R.H.S.; FREITAS, G.B. Desempenho agrônômico de milho consorciado com feijão-de-porco em duas épocas de cultivo no sistema orgânico de produção. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.31, n.3, 2007.

PITOL, C. **A cultura do crambe: Tecnologia e Produção: Milho safrinha e culturas de inverno**, FUNDAÇÃO MS, Mato Grosso do Sul, 2008.

PORTELA, J.C.; COGO, N.P.; BAGATINI, T.; CHAGAS, J.P.; PORTZ, G. Restauração da estrutura do solo por sequencias culturais implantadas em semeadura direta, e sua relação com a erosão hídrica em distintas condições físicas de superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34 p.1353-1364, 2010

PREGNOLATO, W.; PREGNOLATO, N.P. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos químicos e físicos para análise de alimentos**, 3ª Edição, São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 1985.

REINERT, D.J.; ALBUQUERQUE, J.A.; REICHERT, J.M.; AITA, C.; ANDRADA, M.M.C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em argissolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.5, 2008.

REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. **Propriedades físicas do solo**. Santa Maria, 2006.

ROSCOE, R.; DELMONTES, A.M.A. **Crambe é nova opção para biodiesel. Agrianual 2009**. São Paulo: Instituto FNP, p. 40-41, 2008.

SECCO, D.; REINERT, D.J. Efeitos imediato e residual de escarificadores em Latossolo Vermelho-Escuro sob plantio direto. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.16, p.52-61, 1997.

SILVA, A.J.N.; CABEDA, M.S. V. Compactação e compressibilidade do solo sob sistemas de manejo e níveis de umidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, n.6, p.921-930, 2010.

SILVA, S.R.; BARROS, N.F.; COSTA, L.M. Atributos físicos de dois Latossolos afetados pela compactação do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.4, 2006.

SILVA, V. R., REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Resistência mecânica do solo à penetração influenciada pelo tráfego de uma colhedora em dois sistemas de manejo do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, p.795-801, 2000.

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

SOANE, B. D.; OUWERKERK, C. **Soil compaction in crop production**. Amsterdam, Elsevier, 1994. 660p.

SUZUKI, L.E.A.S.; ALVES, M.C. Fitomassa de plantas de cobertura em diferentes sucessões de culturas e sistemas de cultivo. **Bragantia**, Campinas, v.65, n.1, 2006.

SUZUKI, L.E.A.S.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; LIMA, C.L.R. Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.8, 2007.

TORMENA, C.A.; FRIEDRICH, R.; PINTRO, J.C.A.; COSTA, C.S.; FIDALSKI, J. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num

Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.1023-1031, 2004.

VIANA, J. H. M.; FERNANDES, E. I. F.; SCHAEFER, C. E. G. R. Efeitos de ciclos de umedecimento e secagem na reorganização da estrutura microgranular de latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.1, p11-19, 2004.