

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS**

**FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

**INTERAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE UM LATOSSOLO  
VERMELHO DISTROFÉRICO COM ADUBOS VERDES**

**FERNANDO CHRISTIAN DE SOUZA RODRIGUES**

**DOURADOS  
MATO GROSSO DO SUL  
2019**

# **INTERAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE UM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO COM ADUBOS VERDES**

FERNANDO CHRISTIAN DE SOUZA RODRIGUES  
Acadêmico de agronomia

Orientador: PROFA. DRA. CARLA ELOIZE CARDUCCI

Trabalho de conclusão de curso de Graduação  
em Agronomia, da Faculdade de Ciências  
Agrárias da Universidade Federal da Grande  
Dourados como parte dos requisitos exigidos  
para obtenção do título de Engenheiro  
Agrônomo.

DOURADOS  
MATO GROSSO DO SUL  
2019

# INTERAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE UM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO COM ADUBOS VERDES

Por

FERNANDO CHRISTIAN DE SOUZA RODRIGUES  
Acadêmico de agronomia

Trabalho de conclusão de curso apresentado como parte dos requisitos exigidos para  
obtenção do título de BACHAREL EM AGRONOMIA

Aprovada em: 14/02/19



Profa. Dra. Carla Eloize Carducci  
Orientadora – FCA/UFGD



Profa. Dra. Elisângela Dupas  
FCA/UFGD



Dr. Maximiliano Kawahata Pagliarini  
FCA/UFGD



Dra. Kamila de Almeida Monaco  
FCA/UFGD

## **AGRADECIMENTOS**

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por me conceder o dom da vida e por sempre ser meu socorro presente nos momentos de dificuldades.

Aos meus pais, Helenilda de Souza Rodrigues e Edilson José Rodrigues, por toda confiança, estímulo e incentivo nessa longa caminhada que se iniciou em 2014, sempre me concedendo forças e me encorajando a ir além para conquistar meus sonhos.

Ao meu irmão Douglas Henrique de Souza Rodrigues, por me conceder força e incentivo e por ser um grande exemplo para mim.

À Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD – pelas inúmeras oportunidades que me foram concedidas durante toda minha jornada acadêmica.

À Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Carla Eloize Carducci por aceitar ser minha orientadora de trabalho de conclusão de curso, sempre repassando seus conhecimentos, depositando confiança em mim e sempre me auxiliando quando minhas dificuldades e limitações vinham à tona.

A todos os professores, técnicos e funcionários da Faculdade de Ciências Agrárias, por participarem direta e indiretamente em minha formação acadêmica.

Aos técnicos e engenheiros agrônomos da Fazenda Experimental de Ciências Agrárias – FAECA – Maximiliano Kawahata Pagliarini e Kamila de Almeida Monaco, por me auxiliarem na implantação e condução do experimento.

Ao amigo Rafael Costa por não medir esforços em me auxiliar em coletas de amostras à campo bem como nas análises de laboratório.

A todos amigos que realizei em Dourados-MS, por fazerem parte de minha história e por todas as trocas de experiências compartilhadas na qual me fizeram crescer muito como homem.

***Ficam aqui meus sinceros e cordiais agradecimentos, a todos vocês!***

## SUMÁRIO

PÁGINA

LISTA DE FIGURAS  
LISTA DE TABELAS  
LISTA DE GRÁFICOS

RESUMO .....	vii
ABSTRACT .....	viii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	3
2.1 Adubos verdes utilizados na agricultura conservacionista .....	3
2.1.1 <i>Crotalaria breviflora</i> .....	4
2.1.2 <i>Crotalaria spectabilis</i> .....	4
2.1.3 <i>Cajanus cajan</i> .....	5
2.1.4 <i>Mucuna aterrima</i> .....	6
2.2 Adubação verde e as propriedades físicas e químicas do solo.....	7
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	10
3.1 Descrição da área de estudo .....	10
3.2 Análise visual, amostragem e análises físicas e químicas do solo.....	12
3.3 Análises estatísticas .....	15
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	16
4.1 Análise visual da estrutura do solo .....	16
4.2 Efeitos dos adubos verdes na estrutura do Latossolo.....	18
4.3 Efeitos dos adubos verdes nos atributos químicos do Latossolo .....	20
4.4 Componentes principais.....	22
5. CONCLUSÃO.....	26
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	27

## LISTA DE FIGURAS

### PÁGINA

<b>FIGURA 1.</b> Croqui da área experimental com o experimento de adubos verdes.....	11
<b>FIGURA 2.</b> Análise visual da estrutura do solo realizada nas parcelas experimentais..	13
<b>FIGURA 3.</b> Coleta das amostras com estrutura preservada nas camadas estratificadas pela VESS.....	14

## LISTA DE TABELAS

	PÁGINA
<b>TABELA 1.</b> Granulometria do Latossolo Vermelho Distroférico sob cultivo de adubos verdes.....	10
<b>TABELA 2.</b> Média das análises com estrutura preservada antes da instalação do experimento .....	12
<b>TABELA 3.</b> Análise visual da estrutura do solo (VESS) com os valores do Escore Visual (EV) para o Latossolo Vermelho Distroférico cultivado sob quatro adubos verdes.....	16
<b>TABELA 4.</b> Análise das propriedades físicas para todos os tratamentos do experimento .....	18
<b>TABELA 5.</b> Análise das propriedades químicas para todos os tratamentos do experimento .....	20
<b>TABELA 6.</b> Contribuição das variáveis e dos tratamentos analisadas (%).....	23
<b>TABELA 7.</b> Correlação dos componentes principais através da análise de Pearson .....	25

## LISTA DE GRÁFICOS

PÁGINA

<b>GRÁFICO 1.</b> Análise multivariada dos componentes principais, correlação entre tratamentos e variáveis .....	22
---	----

RODRIGUES, F. C. S. **Interação físico-química de um latossolo vermelho distroférico com adubos verdes.** 2019. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso), Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS.

## RESUMO

A agricultura mundial vem passando por diversas transformações técnicas e científicas no que diz respeito a sistemas de produção conservacionistas do solo e da água, preservando as áreas agricultáveis e restaurando áreas degradadas que outrora eram consideradas impróprias para cultivo. Com a preocupação do avanço do processo degradativo que já é realidade em boa parte dos solos brasileiros, criou-se modelos conservacionistas que visam a incorporação de matéria orgânica no solo bem como sua proteção, entre elas a utilização de adubos verdes ou plantas de cobertura do solo. O presente trabalho avaliou das propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho Distroférico, cultivado com quatro espécies de adubos verdes. O experimento foi conduzido na FAECA – Fazenda Experimental de Ciências Agrárias, da Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD, no município de Dourados, MS. Utilizou-se delineamento experimental em blocos casualizados (DBC) com 3 repetições contendo cinco tratamentos, sendo eles: *Crotalaria breviflora* (*Crotalaria breviflora*), *Crotalaria spectabilis* (*Crotalaria spectabilis*), Guandu-anão (*Cajanus cajan*), Mucuna-preta (*Mucuna aterrima*) e controle. As unidades experimentais contavam com parcelas de 5,0 x 2,0 m com 10 linhas cada, espaçadas a 0,5 m. Foi avaliada a qualidade estrutural do solo pelo método descritivo da avaliação da estrutura do solo (VESS) no qual os dados coletados à campo foram fidedignos aos dados encontrados via laboratório, mostrando que escores visuais (EV) abaixo de 2,5 indicou melhoria nos atributos físicos e químicos pelos adubos verdes, indicando boa porosidade, boa estrutura, presença de galerias, organismos da fauna do solo e bioporos que contribuíram para que não houvesse restrições no o crescimento radicular das plantas, a parcela controle que não recebeu nenhum tipo de adubo verde obteve EV de 3,3 indicando uma degradação estrutural do solo, devido ao histórico da área apresentar pousio e intensas operações de aração e gradagem. Todos os tratamentos foram divididos em duas camadas (0-0,17 m e 0,17-0,30 m) de acordo com a identificação por meio de trincheiras no campo. Guandu- anão foi o tratamento que apresentou menor EV resultado de uma planta agressiva em quesito de exploração do solo, as duas espécies de *Crotalarias* foram significativas na camada superficial (0-0,17 m) em correlação com os atributos químicos do solo. O presente trabalho deve ser repetido por mais anos, devido aos efeitos dos adubos verdes serem expressos ao longo do tempo em um sistema mais longo.

**Palavras-chave:** Manejo conservacionista, atributos físico-químico, *Crotalaria breviflora*, *Crotalaria spectabilis*, *Cajanus cajan*, *Mucuna aterrima*.

RODRIGUES, F. C. S. **Interação físico-química de um latossolo vermelho distroférico com adubos verdes.** 2019. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso), Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS.

### ABSTRACT

World agriculture comes passing by several technical and scientific transformations with respect to production systems soil and water conservation, preserving the arable areas and restoring degraded areas that once were considered unsuitable for cultivation. With the advancement of the degradative process which is already reality in much of Brazilian soils, conservation models aimed at the incorporation of organic matter in the soil as well as your protection, coming up the use of green manures or ground cover plants. The present study evaluated the interrelation in the physics and chemistry of a Red Latosol, Distroférico grown with four species of green manures. The experiment was conducted in FAECA – Fazenda Experimental de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados-UFGD, in Dourados, MS. Experimental design was of randomized blocks (DBC) with 3 blocks containing five treatments: *Crotalaria breviflora*, *Crotalaria spectabilis*, *Cajanus cajan*, *Mucuna aterrima* and portion control. The experimental units were 5.0 x 2.0 m plots with 10 rows spaced at 0.5 m parcel was evaluated the structural quality of the soil through the descriptive method of evaluation of soil structure (VESS) where the data collected in the field were unreliable with the data found via lab, showing that Visual scores (EV) below 25 indicated improvement in physical and chemical attributes by green manures, indicating good porosity, good structure, presence of galleries, bodies of soil fauna and bioporos that contributed to that there were no restrictions on the root growth of plants, the portion control that did not receive any kind of green manure obtained EV of 3.3 indicating a structural soil degradation, due to the history of the present area fallow and intense and harrowing plowing operations. All treatments were divided into two layers (0-0.17 0.17 m and -0.30 m) according to the identification through trenches in the field. Guandu-midget was the treatment that showed lower EV result of aggressive plant in question for the exploration of the soil, the two species of *Crotalarias* were significant in the surface layer (0-0.17 m) in relation to chemical soil attributes. The present work should be repeated for more years, due to the effects of the green manures can be expressed over time in a longest system.

**Key-words:** Conservation management, physical-chemical attributes, *Crotalaria breviflora*, *Crotalaria spectabilis*, *Cajanus cajan*, *Mucuna aterrima*.

# INTERAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE UM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRICO COM ADUBOS VERDES

Fernando Christian de Souza Rodrigues<sup>(1)</sup>, Carla Eloize Carducci<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>Discente do Curso de Agronomia da Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD

<sup>(2)</sup>Professora Associada e Doutora no Departamento de Graduação no curso de Agronomia da Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD

## 1. INTRODUÇÃO

O aumento do crescimento populacional aliado ao aumento da demanda de produção de alimentos constitui-se um grande desafio técnico-científico, requerendo a tecnificação e talvez expansão das áreas agricultáveis. Esta busca por novas áreas, não leva em conta apenas a incorporação das áreas agrícolas consideradas aptas para cultivo, mas também o aproveitamento de áreas degradadas com uso de sistemas de produção conservacionistas.

A agricultura mundial vem passando por constantes evoluções no decorrer dos anos, como novas técnicas de cultivo, métodos integrados no controle de pragas e doenças, utilização cada vez mais frequente de novas tecnologias, tornando a agricultura cada vez mais digital (GPS, sensores, radar, softwares, etc) bem como, o incentivo e adesão de novas práticas de conservação do solo e da água.

Este contexto tornou-se evidente ao final da década de 70 com o surgimento de graves problemas oriundos da adoção de práticas agrícolas relacionadas à “Revolução Verde”. A degradação dos solos, associadas à alta pressão de doenças e pragas causou um empobrecimento dos produtores rurais, elevando os custos de produção; como também incrementando os riscos à segurança alimentar. Desta forma, alguns grupos de agricultores e pesquisadores tem-se unido, para propor a adoções de práticas conservacionistas que favoreçam os processos biológicos, físicos e químicos dos solos nos agroecossistemas, como alternativa ao modelo agrícola mais intensivo idealizado na “Revolução Verde” (ESPÍNDOLA; GUERRA; ALMEIDA, 1997).

A preocupação com o avanço do processo degradativo, que já é uma realidade em boa parte dos solos brasileiros, e com a prevenção do avanço da degradação de novas

áreas, tem conduzido à necessidade do uso de práticas de adição de matéria orgânica ao solo. Entre essas práticas conservacionistas, destaca-se a adubação verde, sendo reconhecida como uma alternativa de baixo custo e viável para recuperação e sustentabilidade dos ecossistemas agrícolas.

As plantas consideradas adubos verdes são muito utilizadas para no manejo do solo como: cobertura verde, fonte de nutrientes devido sua capacidade de absorção em camadas mais profundas do solo e rápida liberação destes via decomposição dos resíduos, contribuindo de forma eficaz com a ciclagem de nutrientes, fonte energética para fixação biológica de nitrogênio atmosférico devolvendo para o solo tudo aquilo que são capazes de extrair (BERNANDES et al., 2010, LEITE et al., 2010).

Além de contribuírem beneficemente com o aumento da porosidade e redução dos valores de densidade do solo, estas plantas conhecidas como adubos verdes, podem gerar quantidades de matéria seca (MS) suficientes para manter o solo coberto, aumentar o teor de matéria orgânica do solo (MOS) e diminuir a evapotranspiração (GIONGO et al., 2011). Uma avaliação contínua destes atributos físicos do solo pode facilitar o monitoramento da eficiência ou não de utilização desse tipo de manejo do solo (SECCO et al., 2005).

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos de alguns adubos verdes na qualidade de atributos físicos e os de um Latossolo Vermelho Distroférico em Dourados-MS.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Adubos verdes utilizados na agricultura conservacionista

De acordo com Alan Bojanic, representante da FAO no Brasil, 33% dos solos do planeta Terra estão degradados. Erosão, salinização, compactação, acidificação e contaminação estão entre os principais problemas. Somente com a erosão é possível perder até 40 bilhões de Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de solo, reduzindo significativamente a produtividade das culturas e capacidade de armazenamento do carbono, nutrientes e água. Dezoito países da América Latina possuem mais de 20% do seu território degradado, fator preocupante quando esses dados nos apontam que 95% dos alimentos vêm do solo, por isso, torna-se de extrema importância a conservação dos solos para sobrevivência da humanidade (FAO, 2015).

A família das leguminosas é a mais utilizada como adubação verde nos sistemas agrícolas. De acordo com Miyasaka et al. (1984), a principal razão para essa preferência está na capacidade destas plantas em transformar o nitrogênio existente no ar atmosférico em formas assimiláveis para plantas e animais mediante a simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium* e *Bradyrhizobium* nas raízes. A disponibilização de nitrogênio para as culturas pode ocorrer de formas diferenciadas de acordo com a espécie vegetal. Este nutriente pode ser absorvido do solo na forma de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ou de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ou por meio do N<sub>2</sub> atmosférico pela fixação biológica de nitrogênio (FBN). Nas leguminosas o N é absorvido nas formas de N<sub>2</sub> e transformado em NH<sub>4</sub> por meio do processo simbiótico com bactérias (ANDRADE et al. 1984; GERAHTY et al., 1992; TAIZ & ZIEGER, 2004;). De acordo com Moreira; Huising; Bignell (2010), existem oito gêneros de bactérias nodulíferas fixadoras de nitrogênio, sendo eles: *Allorhizobium*, *Rhizobium*, *Sinorhizobium*, *Mesorhizobium*, *Bradhyrhizobium*, *Azorhizobium*, *Cupriavidus* e *Burkholderia*, sendo os mais comuns em leguminosas *Rhizobium* e *Bradhyrhizobium*. A preferência pelas leguminosas está em seu alto teor de compostos nitrogenados em sua composição e a presença de um sistema radicular profundo e ramificado, capaz de romper camadas compactadas e extrair nutrientes das camadas mais profundas do solo.

Neste contexto a utilização de Adubos Verdes na agricultura tem se tornado uma prática muito estudada por pesquisadores no país. Tal prática consiste na utilização de espécies de plantas em rotação de cultura (RC) ou em consórcio com culturas de interesse

econômico. As plantas de adubos verdes podem ser incorporadas ao solo ou roçadas e mantidas sobre a superfície do solo, proporcionando, em geral, melhorias nas qualidades físicas, químicas e biológicas do solo (FERREIRA; SOUZA; CHAVES, 2012).

#### 2.1.1 Crotalária breviflora (*Crotalaria breviflora*)

A crotalária é uma leguminosa subarbutiva, originária da Índia e Ásia tropical, com caule ereto, semilenhoso, ramificado na parte superior. É planta anual, de crescimento inicial rápido, com efeito alelopático e /ou supressor de plantas invasoras bastante expressivo. Quanto ao clima é uma planta de clima tropical e subtropical, não resistindo a geadas, apresentando bom desempenho nos solos argilosos e arenosos (CALEGARI et al., 1993).

Dentre as diversas leguminosas usadas como adubo verde, a crotalária é muito eficiente como produtora de massa vegetal e como fixadora de nitrogênio (N) (SALGADO et al., 1982). Segundo Souza e Pires (2002), o grupo das crotalárias é um dos mais utilizados para adubação verde no Brasil.

A semeadura deve ser feita de setembro até dezembro, nos locais onde há probabilidade de ocorrência de geadas nos meses de abril/maio. Onde não há ocorrência de geadas pode ser semeada até março/abril (CALEGARI et al., 1993).

É uma cultivar comum, chega de 0,8 até 1,0 m de altura, sua massa verde pode atingir de 15 a 20 t/ha e sua massa fresca de 3 a 5 t/há. Com ciclo anual, esta leguminosa apresenta como época favorável para cultivo os meses de outubro a novembro. A profundidade de semeadura não deve ultrapassar 3 cm, e a densidade de semeadura é de 28 a 32 sementes/metro (PIRAÍ SEMENTES, 2018)

Seu porte baixo facilita o tráfego de máquinas e pessoas nas entrelinhas, controla plantas involuntárias e por ser uma leguminosa que forma associação simbiótica com bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico (FBN), proporcionando, desta forma, a incorporação de quantidades expressivas deste nutriente nos sistemas de cultivo (GUERRA et al., 2004).

#### 2.1.2 Crotalária spectabilis (*Crotalaria spectabilis* Roth)

A crotalária ocupa posição de destaque na adubação verde. *Crotalaria* constitui um dos maiores gêneros da família *Fabaceae*, com cerca de 690 espécies, distribuídas em

regiões tropicais e subtropicais da Ásia e África, e também com representantes na América do sul (GARCIA et al, 2013).

Perin (2004) destaca a alta capacidade de fixação de N pela crotalária *spectabilis*, de 173 kg/ha, decorrentes tanto da alta produtividade de fitomassa (9,34 ton/ha), quanto do seu alto teor de N.

Esta leguminosa destaca-se pela capacidade de controle de fitonematoides do solo, consistindo em excelente alternativa para manejo destas pragas. Charchar e Moita (1999), avaliando o efeito de *Crotalaria spectabilis* em populações de *Meloidogyne javanica* em tomate-salada e feijão-de-vagem, obtiveram reduções tanto no índice de multiplicação (IM) de fitonematoides (este reduziu de 17 a 165 para 11 a 76) quanto ao número de ovos do nematoide por planta (de 7.200 a 19.000 para 1.500 a 6.000), em comparação com parcelas onde foi cultivado quiabeiro antes das culturas avaliadas.

### 2.1.3 Guandu-anão (*Cajanus cajan*)

O guandu-não (*Cajanus cajan*) tem seu centro de origem na Índia, apresentando grande variabilidade genética, com espécies anuais e perenes, que diferem principalmente quanto ao porte, e com grande habilidade de enraizamento a grandes profundidades, podendo romper camadas compactadas, tendo assim habilidade em reciclar nutrientes e água que seriam perdidos no perfil do solo (ALVARENGA et al., 1995).

Há grande importância das plantas leguminosas em um sistema que procura incrementar a quantidade e qualidade de resíduos vegetais na superfície do solo. Calvo et al. (2010) demonstraram a influência de guandu-anão na composição da relação C/N das palhadas produzidas nos consórcios das leguminosas com milho e sorgo, reduzindo significativamente os valores da relação, especialmente aos 60 e 90 dias após plantio (DAP), de aproximadamente de 32 e 37 nos cultivos solteiros de milho e sorgo para 27 e 31, respectivamente, nos consórcios com o guandu. Isso facilita o suprimento de N para as lavouras subsequentes, com a liberação mais imediata do nutriente (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

Apresenta bom desenvolvimento em solos de textura arenosa e argilosa, não tolera umidade excessiva nas raízes, é uma planta pouco exigente quanto à fertilidade do solo, desenvolvendo em solos com pH de 5 a 8. É planta rústica que pode ser utilizada

como adubo verde, produtora de grãos para a alimentação humana, ou forrageira rica em proteínas para a alimentação animal (BARRETO; FERNANDES, 1999).

#### 2.1.4 Mucuna preta (*Mucuna aterrima*)

Segundo Barreto e Fernandes (1999), a Mucuna preta é uma planta de crescimento indeterminado, da família das leguminosas, ciclo anual, robusta e com hábito rasteiro.

A mucuna-preta (*Mucuna aterrima*) é uma espécie bem conhecida quanto às qualidades como planta de cobertura e adubação verde. É uma leguminosa anual de verão, de crescimento indeterminado e má hospedeira dos nematoides de galha, cisto e reniforme, tendo também a capacidade de fixar nitrogênio no solo. Seu centro de origem é localizado no leste asiático, especialmente China e Leste da Índia. A produtividade de matéria seca (MS) situa-se entre 4,9 e 9,1 ton/ha na região dos Cerrados (ALVARENGA et al, 2001).

Oliveira et al (2002) observaram maior acúmulo de nutrientes em consórcio de milho com mucuna-preta, enquanto que Calegari (1995) recomenda o consórcio desta leguminosa com milho.

A incorporação dos resíduos de mucuna-preta ao solo é recomendada quando o objetivo é controlar fitonematóides no solo, como constatou Lopes et al (2005) ao obter redução significativa no número de ovos e de galhas de *Meloidogyne incógnita* e *M. javanica* em raízes de tomateiros. Segundo o autor, essas reduções podem ser ocasionadas devido à presença de compostos nematicidas pré-formados na parte aérea da mucuna, à formação de sub-produtos de decomposição da matéria orgânica ou ainda pelo aumento da microflora antagonista aos fitonematoides.

Planta de clima tropical e subtropical, é resistente a temperaturas elevadas, à seca, ao sombreamento e ligeiramente resistente ao encharcamento temporário do solo. Por ser uma planta com elevada rusticidade, apresenta facilidade de adaptação e desenvolvimento em solos ácidos de baixa fertilidade. Possui capacidade de atuar na diminuição da multiplicação de populações de nematoides. É possível utilizar a forragem de mucuna (solteira ou consorciada com milho) na alimentação animal, quer em pastejo direto, quer na forma de silagem ou feno. Pode-se também aproveitar os grãos, vagens e hastes secas trituradas. (PIRAÍ SEMENTES, 2018)

## 2.2 Adubação verde e as propriedades físicas e químicas do solo

A utilização de plantas de adubação verde traz inúmeros benefícios para o agroecossistema, como: diminuição das perdas de nutrientes, como o nitrogênio; aumento do teor de matéria orgânica, desde que utilizadas de forma contínua no sistema; redução dos índices de erodibilidade do solo, pois, sua quantidade de matéria seca (MS) produzida é capaz de manter o solo coberto protegendo das chuvas fortes e diminuir a evapotranspiração.

Estas plantas promovem o aumento da retenção de água no solo; algumas plantas de cobertura promovem a diminuição de plantas invasoras e contribuem para redução da população de patógenos fúngicos das plantas e também contribuem para o controle de nematoides associados a produção de toxinas; outra forma de aplicar a utilização de adubos verdes é em recuperação de áreas degradadas, onde apresenta solos pobres e adensados (LIMA, MENEZES, 2010).

As propriedades físicas do solo estão diretamente relacionadas com o crescimento da planta. No agroecossistema para se obter o equilíbrio entre a cultura e o ambiente, à manutenção das propriedades físicas do solo é considerada parte do alicerce para o sucesso dos cultivos (FACHINELLO et al., 2003).

A redução dos macroporos devido à compactação, pelo tráfego intenso de máquinas e implementos agrícolas, pisoteio de animais em pastejo, lastragem incorreta ou trafegabilidade em solo com alto teor de umidade; contribuem para a formação de camadas compactadas, aumentando a resistência mecânica do solo à penetração das raízes e reduzindo a infiltração de água (ALVES et al., 2007).

Segundo Silveira Neto et al. (2006), o aumento da densidade do solo em camadas mais superficiais é muito comum na classe dos Latossolos Brasileiros, podendo ser ocasionado por uso inadequado de máquinas e implementos agrícolas, que acabam elevando os níveis de densidade do solo. Hoje este problema de adensamento e compactação é tratado como uma das principais causas da deterioração da estrutura do solo e do decréscimo da produtividade das lavouras.

Efeitos mais pronunciados desse grande problema da compactação do solo são observados quando há cultivo sob sistema de produção agrícola conhecido como sucessão de culturas. Em sistemas com rotação de culturas e uso de plantas de cobertura, pode melhorar a qualidade química (BAYER, MIELNICZUK, 1997; BAYER et al., 1998) e física do solo (ALBUQUERQUE et al., 1995; TORMENA et al.,

2004; ARGENTON et al., 2005), mas, a curto prazo, isso não foi observado por Genro Junior et al. (2004).

Entretanto, o adubo verde pode ser utilizado como medida mitigatória para amenizar os efeitos nocivos da compactação do solo, por reduzir a sua resistência à penetração das raízes (MINATEL et al., 2006) permitido pelo rompimento de camadas mais endurecidas do solo, devido os sistemas radiculares bem desenvolvidos e profundos (ESPINDOLA et al., 1997).

Plantas com sistema radicular bem ramificados promovem novo rearranjo das partículas do solo, criando novos caminhos ou canais permanentes, após sua decomposição o que favorece a infiltração de água e difusão de gases, melhorando os aspectos físicos do solo (FOLONI et al., 2006). Segundo Roth et al. (1992), o crescimento radicular pode também incrementar o conteúdo de material orgânico ao longo do perfil do solo, a qual contribui positivamente com a estabilidade dos agregados, reduzindo a susceptibilidade do solo à compactação e erosão (SILVA et al., 2013).

As interações do solo-raízes vêm sendo cada vez mais exploradas por pesquisadores do mundo todo, em busca de se conhecer de forma mais precisa a complexa distribuição do sistema radicular das culturas e suas prováveis alterações na estruturação do solo (CARDUCCI et al., 2014).

A utilização de adubos verdes como plantas descompactadoras de solo, favorecem o aumento da macro, micro e porosidade total, reduzindo, com isso, a densidade do solo (SANTOS et al., 2009).

Segundo Andrade et al. (1984), a utilização de adubos verdes em áreas de pastagens degradadas se destaca em importância e viabilidade, pois a utilização de plantas leguminosas favorece à manutenção e/ou aumento dos teores de nitrogênio (N) do solo, correlacionado diretamente com a presença de matéria orgânica do solo (MOS). Diversos estudos científicos e evidências práticas alegam que os adubos verdes desempenham ações em diferentes aspectos da fertilidade do solo, entre os quais podemos citar a elevação do pH, fixação do N atmosférico de maneira simbiótica pelas leguminosas e o aumento do teor de MOS.

Alves et al. (1996), estudando o efeito de adubos verdes sobre as características químicas de um Argissolo Vermelho-Amarelo, cultivado com laranja, verificaram que houve aumento na disponibilidade de nutrientes na camada de 0-10 cm de profundidade.

Nascimento et al. (2003) estudaram o efeito de leguminosas (crotalária, guandu, guandu-anão, calopogônio, feijão-de-porco, lab-lab, kudzu tropical, siratro, leucena,

cunha, mucuna-preta, e mucuna-cinza, além do tratamento testemunha) nas características químicas de um Luviossolo degradado, e observaram de acordo com os resultados significativos das leguminosas na fertilidade do solo, em comparação com a testemunha, com incrementos significativos de pH e de cátions trocáveis, refletindo positivamente na CTC e no índice de saturação por bases.

Alcântara et al. (2000) verificaram o desempenho dos adubos verdes (guandu e crotalaria-juncea) na recuperação de um Latossolo Vermelho-escuro distrófico degradado, avaliado aos 90, 120 e 150 dias após o manejo e observaram que o guanduse destacou na primeira avaliação em relação as melhorias na fertilidade do solo e a crotalaria-júncea na segunda avaliação, não sendo encontrado benefícios da adubação verde na terceira avaliação quanto a fertilidade do solo.

### 3. MATERIAL E METÓDOS

#### 3.1. Descrição da área de estudo

O trabalho foi conduzido na Fazenda Experimental de Ciências Agrárias (FAECA) da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), situada no município de Dourados, MS, estando nas coordenadas geográficas de 55° 00' 09" O 22° 15' 03" S e altitude de 434 m. O clima é do tipo Cfa (clima temperado úmido), segundo a classificação de Köppen (1948), com estações de inverno e verão bem definidas (inverno seco e verão chuvoso), com precipitação média anual de 1.410 mm (ARAI et al., 2010).

O solo da área onde o experimento foi conduzido é um Latossolo Vermelho Distroférico de textura argilosa e mineralogia caulínica (SANTOS et al., 2013), originário de derramamento basáltico (Tabela 1).

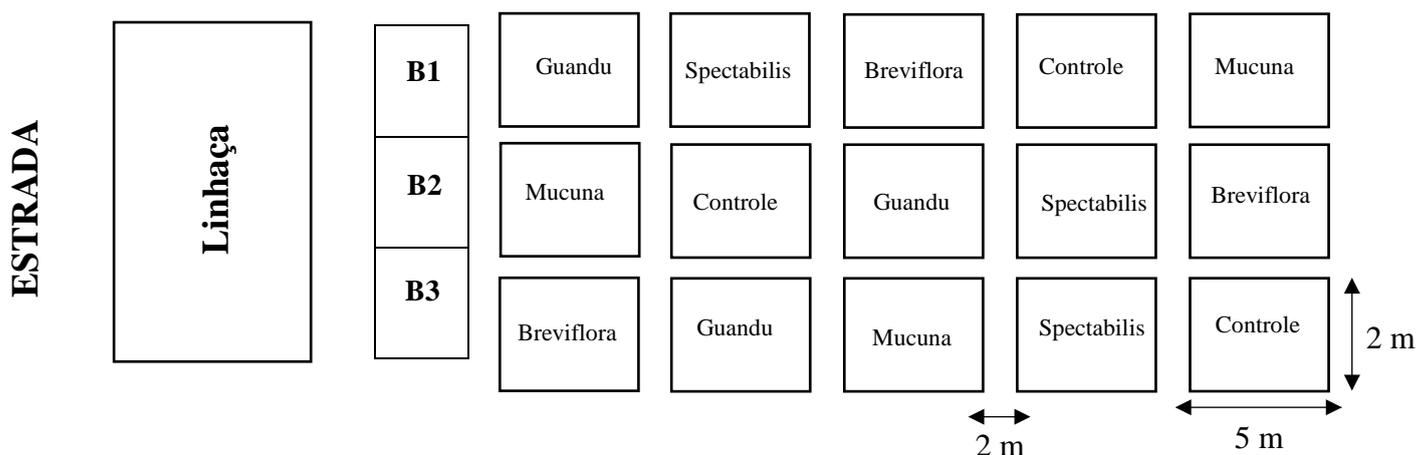
**TABELA 1.** Granulometria do Latossolo Vermelho Distroférico sob cultivo de adubos verdes.

	<b>Argila</b>	<b>Areia</b>	<b>Silte</b>	<b>Dp<sup>(1)</sup></b>
<b>Profundidade</b>	<b>g kg<sup>-1</sup></b>			
<b>0-0,30 m</b>	616,87	139,52	243,59	3,13

<sup>(1)</sup>Dp.: Densidade de partículas, calculada pela fórmula: (20g de solo/50-volume gasto).

As unidades experimentais foram constituídas por parcelas de 5,0 x 2,0 m, contendo 10 linhas com espaçamento de 0,5 m. O espaçamento entre parcelas experimentais foi de 2 m, facilitando o manejo pós semeadura dos adubos verdes. O delineamento experimental utilizados foi em Blocos Casualizados (DBC), contendo 3 blocos com 5 tratamentos cada bloco, onde cada tratamento se enquadra nas parcelas experimentais, como exemplificado no croqui (Figura 1).

**FIGURA 1.** Croqui da área experimental de adubos verdes.



O histórico da área onde o experimento com adubos verdes foi conduzido, consistia em uma área de pousio que outrora era utilizada para experimentos acadêmicos com diferentes culturas como soja, milho e girassol; porém antes da condução do experimento a área estava em pousio.

A implantação do experimento ocorreu em meados de novembro de 2017 com semeadura manual, após o preparo primário do solo realizado por meio de uma grade aradora pesada de 16 discos de 28” atingindo uma profundidade de trabalho de 0,50 m, tendo por finalidade a desagregação do solo e controle de plantas espontâneas, e grade niveladora de 28 discos de 20”, tendo por finalidade nivelar o terreno e desagregar alguns agregados maiores na camada superficial do solo, foi realizado os sulcos para semeadura dos adubos verdes utilizando um sulcador. O espaçamento entre linhas de cultivo foi de 0,50 m com 5 m de comprimento.

As sementes dos adubos verdes utilizados foram cedidas pela empresa Pirai Sementes de Piracicaba-SP, sendo sementes credenciadas no Registro Nacional de Sementes e Mudanças – RENASEM SP0811/2006. Os tratamentos utilizados foram plantas da família *Fabaceae* (leguminosas) como: a *Crotalaria spectabilis* (28 a 31 sementes/metro linear), *Crotalaria breviflora* (28 a 31 sementes/metro linear), *Cajanus cajan* (feijão guandu-anão 23 a 25 sementes/metro), *Mucuna puriens* (4 a 5 sementes/metro), e um controle sem nenhum tipo de adubo químico ou adubo verde, foram instalados em três repetições.

Após três meses no campo foi realizado o corte mecanizado com o implemento Triton®, que apresenta lâminas em forma de “L” permitindo a fragmentação contínua

e uniforme das plantas, tornando-o eficiente no manejo da fitomassa. O corte das plantas de adubos verdes ocorreu quando as plantas atingiram o pleno florescimento e início da formação das vagens, o que favorece a ciclagem de nutrientes no solo (ALCÂNTARA, 2000).

Anteriormente a instalação do experimento e posterior ao preparo, foram coletadas amostras com estruturas preservadas em anéis volumétricos ( $\approx 90 \text{ cm}^3$ ), na camada superficial do solo (0-0,10 m) para determinação dos atributos físicos antecedentes aos possíveis efeitos dos adubos verdes. Foram determinados a densidade global do solo (Ds), porosidade total determinada (PTd), microporos (Mi), macroporos (Ma) e poros bloqueados (PB) (TEIXEIRA et al., 2017).

**TABELA 2.** Média das análises com estrutura preservada antes da instalação do experimento.

<b>PT<sup>(1)</sup></b>	<b>MI<sup>(2)</sup></b>	<b>MA<sup>(3)</sup></b>	<b>PTC<sup>(4)</sup></b>	<b>PB<sup>(5)</sup></b>	<b>DS<sup>(6)</sup></b>
<b>cm<sup>3</sup>cm<sup>-3</sup></b>					
0,59	0,40	0,20	0,59	0,01	1,29

<sup>(1)</sup>PT.: Porosidade total, <sup>(2)</sup>MI.: Microporosidade, <sup>(3)</sup>MA.: Macroporosidade, <sup>(4)</sup>PTC.: Porosidade total calculada, <sup>(5)</sup>PB.: Poros bloqueados, <sup>(6)</sup>DS.: Densidade do solo.

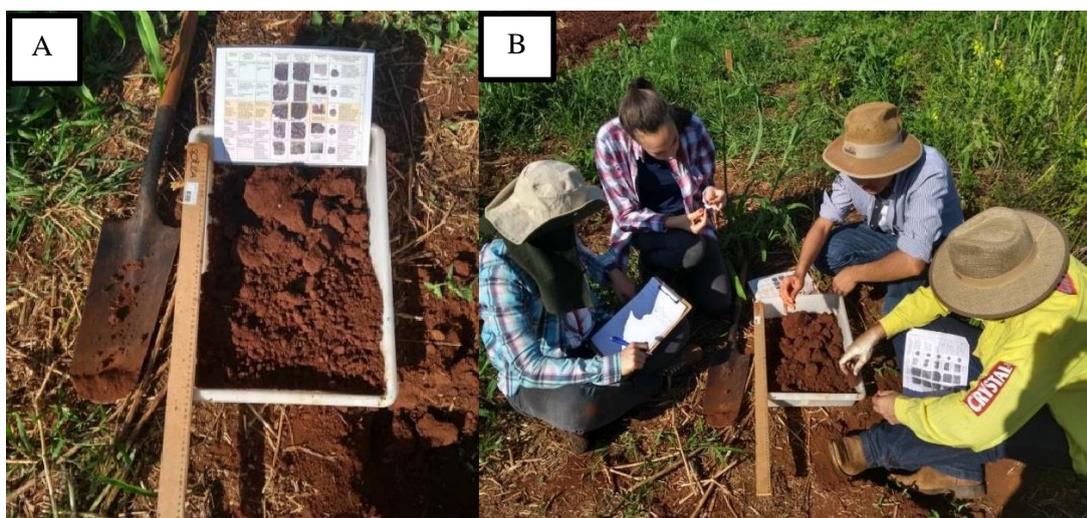
### 3.2. Análise visual, Amostragem e análises físicas e químicas do solo

As amostras de solo foram coletadas após 1 mês do corte dos adubos verdes, devido o tempo de decomposição destas e seu provável efeito no solo. A primeira avaliação consistiu na abertura de três trincheiras (0,3 x 0,3 x 0,3 m) em cada tratamento com auxílio de uma pá reta, para a avaliação das unidades estruturais do solo - organização dos agregados por meio de técnicas qualitativas da estrutura do solo obtidas diretamente a campo, ou seja, através do método de análise visual da estrutura do solo (VESS) (BALL et al., 2007).

A VESS é uma técnica de avaliações rápidas, seguras, objetivas e de baixo custo definindo em um primeiro momento a qualidade visual e tátil do solo (QS), podendo ser realizada por agricultores e ou qualquer profissional da área que tenha conhecimento específico. Esta pontua a qualidade do agregado por meio de notas como: Qe1 = Friável (estrutura solta); Qe2 = Intacto; Qe3 = Firme; Qe4 = Compacto; Qe5 = Muito compacto (estrutura pobre), ou seja, definem-se cinco escores visuais (Ev) para a classificação da qualidade: de Ev = 1 (melhor qualidade estrutural) a Ev = 5 (degradação estrutural). É

calculada pela seguinte equação:  $\text{Tratamento} = [(\text{Qe} \times \text{espessura da camada}) / \text{profundidade total}] + [(\text{Qe} \times \text{espessura da camada}) / \text{profundidade total}]$  (GUIMARÃES et al., 2011; BALL et al., 2007). (Figura 2).

**FIGURA 2.** Análise visual da estrutura do solo (VESS) realizada nas parcelas experimentais.



(A) Solo na bandeja para avaliação da estrutura do solo, através da carta de identificação; (B) Identificação do nível de agregação através da avaliação tátil dos níveis de fraqueza dos agregados.

Alguns critérios que contribuem para a definição do escore são o tamanho, a aparência e o grau de resistência dos agregados obtidos em uma planilha padrão que é utilizada em campo (BALL et al., 2007; GUIMARÃES et al., 2011). Os níveis de agregação do solo também são avaliados pela quebra dos agregados nas suas linhas de fraqueza, também podem ser influenciados pela umidade atual no momento da análise (JOHANNES et al., 2016).

Tal estudo recente proposto por Johannes et al. (2016) demonstraram que a avaliação da estrutura do solo pode ser comparada ou associada com as propriedades físicas do solo, como resistência mecânica à penetração de raízes, estabilidade de agregados, intervalo hídrico ótimo (PRICE et al., 2013; GUIMARÃES et al., 2013; MONCADA et al., 2014) e variabilidade espacial da estrutura do solo (organização dos sólidos e vazios) (CARDUCCI et al., 2016).

Posteriormente a VESS, amostras de solo com estrutura preservada em anéis volumétricos ( $\pm 0,04$  mm de diâmetro e 0,54 m de altura) foram coletadas nas parcelas experimentais em profundidades de 0-0,17 m e 0,17-0,30 m camadas estratificadas do solo identificadas pela VESS, para determinação das seguintes análises físicas: densidade

do solo ( $D_s$ ), porosidade total determinada (PTd), microporos (Mi), macroporos (Ma) e poros bloqueados (PB) (TEIXEIRA et al., 2017).

Também foram coletadas amostras com estrutura deformadas, para determinar os atributos físicos e químicos como: a granulometria pelo método da pipeta, densidade de partícula ( $D_p$ ) pelo método do balão volumétrico, pH em água (acidez ativa) e KCl (acidez potencial) e conteúdo de carbono orgânico total (COT) pelo método da oxidação da matéria orgânica do solo (MOS - WALKLEY e BLACK). De posse dos dados de densidade do solo e densidade de partícula foi calculada a porosidade potencial do solo pela equação:  $PT = 1 - (D_s/D_p)$  (TEIXEIRA et al., 2017), com três repetições por tratamento e profundidade (Figura 3).

**FIGURA 3.** Coleta das amostras com estrutura preservada nas camadas estratificadas pela VESS.



(A) Trincheira (0,30 m x 0,30 m) aberta para introdução do anel; (B) Introdução do anel no centro da trincheira; (C) Anel introduzido no centro da trincheira pronto para ser removido com a amostra de solo com estrutura preservada.

A partir dos valores obtidos do pH em água e em KCL foi realizado o balanço de cargas ( $\Delta pH$ ) de acordo com a equação indicada por Uehara e Gillman (1980a,b):  $[\Delta pH = pH_{KCl} - pH_{H2O}]$ . É estimado o ponto de carga zero (PCZ), conforme a equação proposta por Uehara e Gillman, (1980a):  $PCZ = 2 pH_{KCl} - pH_{H2O}$ .

Os estoques de COT dos tratamentos foram calculados pela seguinte equação:  $EstC = (COT \times D_s \times E)/10$  em que: EstC = estoque de C total ( $mg\ ha^{-1}$ ); COT = conteúdo de C total ( $g\ kg^{-1}$ );  $D_s$  = densidade do solo ( $g\ cm^{-3}$ ); e = espessura da camada de solo (cm) (SILVA et al. 2013).

### **3.3. Análises estatísticas**

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e quando significativos pelo teste F, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) pelo programa computacional SISVAR (FERREIRA, 1998).

Para aumentar o poder de predição e discriminar as variáveis melhor correlacionadas pela interação adubos verdes x solo, procedeu-se à análise de componentes principais (ACP) por meio de uma análise estatística de natureza multivariada, por meio do software XLSTAT (Addinsoft), com vistas a identificar em grupos o efeito dos adubos verdes na física e química do solo.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Análise visual da estrutura do solo

Estão apresentados na tabela 3 os resultados referentes a análise visual da estrutura do solo (VESS) em cada tratamento. Por meio da análise à campo notou-se distinção entre duas camadas no perfil do solo amostrado: 0-0,17 m e 0,17-0,30 m, onde os agregados apresentaram aspectos morfológicos e de resistências contrastantes entre si.

**TABELA 3.** Análise visual da estrutura do solo (VESS) com os valores do Escore Visual (EV) para o Latossolo Vermelho Distroférico cultivado sob quatro adubos verdes.

Trat. <sup>(1)</sup>	Prof. (m) <sup>(2)</sup>	VESS <sup>(3)</sup>	Restrição às raízes	EV <sup>(4)</sup>	Porosidade
C. breviflora	0-0,17	Qe2/Intacto	Nenhuma	2,12	Alta
	0,17-0,30	Qe2/Intacto	Nenhuma		Alta
C. spectabilis	0-0,17	Qe2/Intacto	Nenhuma	2,16	Alta
	0,17-0,30	Qe3/Firme	Nenhuma		Pouco
Guandu-anão	0-0,17	Qe2/Intacto	Nenhuma	1,95	Alta
	0,17-0,30	Qe1/Friável	Nenhuma		Alta
Mucuna-preta	0-0,17	Qe2/Intacto	Nenhuma	2,00	Alta
	0,17-0,30	Qe2/Intacto	Nenhuma		Alta
Controle	0-0,17	Qe4/Compacto	Forte	3,33	Baixa
	0,17-0,30	Qe3/Firme	Fraca		Baixa

<sup>(1)</sup> Trat.: tratamento com os adubos verdes; <sup>(2)</sup> Prof.: profundidade; <sup>(3)</sup> VESS.: análise visual da estrutura do solo; <sup>(4)</sup> EV.: escore visual.

Vale ressaltar que as avaliações visuais do solo permite um exame detalhado dos aspectos da estrutura do solo e indica as camadas que foram mais modificados pelos sistemas de manejo e são, portanto, profundidades interessantes para investigação (Giarola et al., 2013), além de ser uma técnica útil na tomada de decisão para correção e, ou alteração dos sistemas de manejo utilizados.

Mesmo o solo sendo preparado de forma convencional foi possível notar visualmente e identificar pelo Escores (< 2,5) dos tratamentos que todas as plantas

utilizadas como adubos verdes responderam positivamente quando comparados ao tratamento controle, ou seja, apresentaram maior porosidade, melhor friabilidade, agregados maiores, especialmente na primeira camada de solo e conseqüentemente distribuição mais homogênea dos agregados (BARBOSA et al., 2017).

O solo no qual foi realizado a VESS havia recebido o preparo convencional (arações e/ou gradagens), fator que pode contribuir para um novo reajuste das partículas do solo com possível incrementação da densidade do solo (Ds) em profundidade e alívio momentâneo logo na superfície do solo. Diferentes operações de preparo de solo podem alterar os atributos físicos do solo, tais como a Ds, a porosidade (Pt) e a resistência do solo à penetração das raízes (RP) (TORMENA et al. 2004).

Dentre os tratamentos avaliados o que obteve o menor escore visual foi o feijão Guandu-anão (*Cajanus cajan*) (Tabela 2). Resultando em melhorias na qualidade estrutural do solo avaliado, devido a maior presença de raízes vivas e bem distribuídas logo na primeira camada com agregados maiores e intactos, além da ocorrência de organismos da fauna de solo (formiga, minhoca, enquitreídeo entre outros), estes últimos considerados agentes formadores de galerias de aeração natural além de serem fragmentadores de material orgânico, o que contribui para melhor aeração do solo (BRITO, et al. 2016).

O tratamento com Mucuna-preta (*Mucuna puriens*) apresentou valores próximos aos encontrados no tratamento Guandu-anão. Seu escore visual foi igual a 2, (Tabela 2). Fato que pode estar relacionado a uma estrutura mais porosa e homogênea nas duas camadas investigadas, porém apresentou agregados pequenos que se desmanchavam facilmente, provavelmente devido a ação combinada da aração e das raízes. Foi perceptível visualmente a presença de organismos da fauna do solo e boa distribuição de umidade e raízes da mucuna em todo o perfil do solo.

As duas espécies de Crotalárias apresentaram valores semelhantes dos escores visuais, com pequena variação na porosidade em profundidade, sendo superior para a *C. breviflora*.

O tratamento controle apresentou o pior EV (3,3) representando que a ausência de plantas de cobertura trouxe resultados negativos para o solo avaliado. Esse valor de escore visual é explicado por Ball et al. (2007), onde os autores estabeleceram que para camadas com EV > 3 são necessárias melhorias nas práticas de cultivo para recuperação da qualidade física do solo e obtenção de maiores produtividades das lavouras.

## 4.2 Efeitos dos adubos verdes na estrutura do Latossolo

No que diz respeito aos atributos físicos do solo avaliados, segue na Tabela 4 os dados médios de todos os tratamentos de acordo com suas respectivas profundidades.

**TABELA 4.** Análise das propriedades físicas para todos os tratamentos do experimento.

Tratamentos	Ds <sup>(1)*</sup>	PTd <sup>(2)*</sup>	MI <sup>(3)ns</sup>	MA <sup>(4)ns</sup>	PTc <sup>(5)*</sup>	PB <sup>(6)ns</sup>
	Mg m <sup>-3</sup>	.....cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> .....				
0-0,17m						
Guandu-anão	1,21b	0,63a	0,38	0,25a	0,61a	0,03
C.Breviflora	1,29ab	0,61ab	0,42	0,19ab	0,59ab	0,02
Mucuna-preta	1,42a	0,54b	0,43	0,12b	0,55b	0,02
C.Espectabilis	1,33ab	0,60ab	0,45	0,15ab	0,57ab	0,03
Controle	1,33ab	0,60ab	0,45	0,16ab	0,57ab	0,03
0,17-0,30m						
Guandu-anão	1,42ab	0,56ab	0,47	0,10ab	0,55a	0,01
C.Breviflora	1,33ab	0,58ab	0,41	0,17ab	0,58ab	0,02
Mucuna-preta	1,42ab	0,54a	0,42	0,12ab	0,55a	0,01
C.Espectabilis	1,30b	0,59ab	0,42	0,17ab	0,58ab	0,01
Controle	1,29ab	0,60ab	0,41	0,19ab	0,59ab	0,02

<sup>(1)</sup>Ds: densidade do solo; <sup>(2)</sup>PTd: porosidade total determinada; <sup>(3)</sup>MI: microporosidade; <sup>(4)</sup>MA: macroporosidade; <sup>(5)</sup>PTc: porosidade potencial total; <sup>(6)</sup>PB: poros bloqueados. \*: significativo a  $p < 0,05$  pelo teste de Tukey, ns: não significativo. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Analisando-se os resultados obtidos dos respectivos tratamentos foi possível observar que apenas o tratamento com Guandu-anão proporcionou elevação dos valores de PT, embora os demais se mantiveram com valores iguais ou próximos aos encontrados no momento do preparo de solo. Esses valores altos de PT acima de 50% são típicos dos Latossolos Vermelhos, devido à presença de agentes oxídicos desorganizadores de estrutura do solo, ou seja, formadores de estrutura granular mais porosa e de alta estabilidade (KER, 1997; FERREIRA et al., 1999). Além disso, nesse tratamento os agregados visualmente apresentaram-se com maior dimensão e resistentes a aplicação de força entre os dedos, o que pode ter contribuído com a PT, propiciando às raízes um bom desenvolvimento (CREMON, 2007), como identificado na análise visual da estrutura do solo (Tabela 2).

Entretanto no tratamento com Mucuna, verificou-se os menores valores de PT, tal resultado pode ser explicado por Alves e Suzuki (2004) que ao avaliarem a PT em um Latossolo Vermelho cultivado com diferentes espécies de adubos verdes (Crotalaria, Mucuna-preta e Milheto) entre um pousio de 6 anos, não encontraram variações significativas para a PT. De acordo com Alves (2006), as plantas de cobertura contribuíram com melhorias das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, porém com efeitos semelhantes entre si.

Segundo Prado et al. (2002), há no Brasil uma escassez sobre estudos em longo prazo sobre a influência do pousio nos atributos dos solos já que sempre foi raro a manutenção de solos em descanso mais prolongado, existindo uma lacuna no que tange a identificação do tempo de pousio mínimo correto para a recuperação da qualidade do solo.

De forma geral os valores de  $D_s$  apresentaram-se dentro do padrão previsto para um Latossolo de mineralogia caulinitica como o estudado. De acordo com Ker (1997) e Ferreira et al. (1999) e Silva et al. (2017) a caulinita contribui para o ajuste face-a-face da estrutura do solo, elevando a  $D_s$  e reduzindo a macroporosidade. No caso deste experimento vale lembrar também que o histórico de práticas de manejo nesse solo, sempre apresentou o uso de arado e grade. No entanto esses valores de  $D_s$  não são considerados prejudiciais ao desenvolvimento radicular das culturas (TORMENA et al., 2004; COLLARES et al., 2006; REINERT et al., 2008).

Os valores relacionados a porosidade não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos, exceto pequenas reduções nos valores de poros bloqueados (PB) nos tratamentos Guandu-anão na camada de 0,17-0,30 m e Mucuna-preta em ambas as camadas. Valores elevados de PB indicam degradação do solo, e entupimentos de poros. Embora nesses mesmos tratamentos os valores de macroporos (MA) tenham sido menores, os mesmos se mantiveram próximos ao ideal para a manutenção dos fluxos de gases do solo ( $\geq 10 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ), para evitar deficiência na aeração do sistema radicular das plantas (KLEIN, 2008).

Portanto, ficou evidente que todos os tratamentos contribuíram para um aumento significativo da densidade do solo (DS) (Tabela 4) quando comparados com a Tabela 2 (Antes dos adubos verdes).

Tal fato pode ser explicado pela sequência de operações de preparo convencional do solo, realizadas na área, antes da instalação do experimento, que consistiu em gradagem pesada, grade niveladora e sulcação, sabe-se que tais operações tem como objetivo promover o alívio da estrutura porém momentâneo e podem contribuir com algum grau de compactação (SEVERIANO et al., 2009) do solo. Outro fator que pode ter contribuído é o próprio tipo de solo (Latossolo Vermelho Distroférrico) que apresenta elevado conteúdo de argila (>60%) é rico em argilas 1:1 (oxídicas e cauliniticas) que apresenta altos teores de carga elétrica positiva, pouca matéria orgânica (MO) (FERREIRA et al., 1999, SILVA et al., 2017) (Tabela 5), tais componentes do Latossolo podem ter interagido com o clima e assim, ocasionando um novo rearranjo das partículas do solo.

### 4.3 Efeitos dos adubos verdes nos atributos químicos do Latossolo

Em geral, os valores de  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  foram os maiores comparados aos de  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  (Tabela 5). Esses resultados são conferidos ao efeito da solução de KCl, que, em contato com a amostra de solo, induz a troca de cátions devido à maior concentração dos íons trocáveis ( $\text{K}^+$ ), liberando íons  $\text{H}^+$  e  $\text{Al}^{3+}$  para a solução, com consequente, aumento da acidez (EBELING et al., 2008).

**TABELA 5.** Análise das propriedades químicas para todos os tratamentos do experimento.

Tratamentos	$\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}^{(1)*}$	$\text{pH}_{\text{KCl}}^{(2)*}$	$\Delta\text{pH}^{(3)}$	$\text{PCZ}^{(4)*}$	$\text{COT}^{(5)*}$	$\text{Est.C}^{(6)}$	$\text{MOS}^{(7)*}$
					$\text{g kg}^{-1}$	$\text{mg ha}^{-1}$	$\text{g/kg}$
0-0,17m							
Guandu-anão	6,41 ab	5,08ab	-1,34	3,74ab	27,75ab	62,28ab	48,90ab
C.Breviflora	6,59a	6,32a	-0,26	6,06a	29,75a	69,64a	52,66a
Mucuna-preta	6,25ab	5,00ab	-1,25	3,75ab	28,58ab	65,13ab	51,34ab
C.Escpetabilis	6,48ab	5,74ab	-0,74	5,00ab	28,73a	65,27ab	49,46ab
Controle	5,69b	5,05b	-0,65	4,40ab	25,27b	55,31b	41,76b
0,17-0,30m							
Guandu-anão	6,41 ab	5,13ab	-1,29	3,84ab	27,13ab	49,98ab	47,96ab
C.Breviflora	6,49ab	5,55ab	-0,94	4,61ab	28,07ab	48,38ab	49,65a
Mucuna-preta	6,61 ab	5,21ab	-1,40	3,80ab	26,98ab	49,85ab	50,22a
C.Espectabilis	6,14ab	4,92ab	-1,22	4,88ab	28,18ab	47,89ab	46,83ab
Controle	6,37ab	5,63ab	-0,74	3,71ab	27,45ab	46,03ab	40,65b

<sup>(1)</sup> $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ : em água; <sup>(2)</sup> $\text{pH}$  em KCl: em cloreto de potássio; <sup>(3)</sup> $\Delta\text{pH}$ : variação do Ph; <sup>(4)</sup>PCZ: Ponto de carga zero; <sup>(5)</sup>COT: carbono orgânico total; <sup>(6)</sup>Est.C: Estoque de carbono; <sup>(7)</sup>MOS: matéria orgânica do solo. \*: significativo a  $p < 0,05$  pelo teste de Tukey, ns: não significativo. Letras minúsculas dentro das profundidades não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Em um estudo realizado por Favero et al. (2008), verificaram que a redução da acidez trocável em solo sob sistemas conservacionistas como é o caso deste estudo, devido ao incremento e ou manutenção de MO, esta pode complexar o alumínio trocável ( $\text{Al}^{3+}$ ) com formas mais lábeis de matéria orgânica diminuindo assim a acidez do solo (Tabela 5).

O balanço de cargas ( $\Delta\text{pH}$ ) que é atribuído pela diferença do  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  e  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  resultou em uma pequena quantidade de carga líquida negativa na superfície dos coloides do solo em ambos os tratamentos, indicando que neste solo ocorre maior retenção de cátions (como o cálcio) do que ânions. Em Latossolos muito intemperizados, com mineralogia oxídica a superfícies dos coloides são carregados positivamente, entretanto

quando estes Latossolos estão em fase intermediária de evolução ainda há grande presença de caulinita na composição da fração argila, contribuindo dessa forma com uma pequena porcentagem em cargas negativas oriundas da caulinita como observado nos valores de PCZ (PCZ = 4) (FONTES et al., 2001). A demais contribuição em termos de carga elétrica líquida ficam por conta dos óxidos (PCZ = 6) e pequena contribuição do COT em cargas negativas geralmente nos primeiros 0,05 m de profundidade.

Dentre os tratamentos utilizados os que responderam positivamente nas avaliações químicas foram as duas espécies de *Crotalaria*, especialmente na primeira camada de solo (0-0,17 m) contribuindo de maneira direta e significativa no incremento de carbono orgânico total do solo (COT) bem como, na manutenção das cargas elétricas do solo (Tabela 5).

A matéria orgânica do solo (MOS) constitui o maior reservatório de carbono (C) do mesmo e esta é incrementada ou mantida no solo de acordo com o tipo e fornecimento de resíduos vegetais, materiais com alta relação C/N (> 20) perduram por longo tempo sobre a superfície do solo, decompondo lentamente, em contrapartida, materiais de baixa relação C/N (<20) como é o caso dos adubos verdes, degradam rapidamente elevando os valores de MO e EstC no solo (Tabela 5). O estoque de carbono orgânico do solo pode ser alterado com maior ou menor intensidade, dependendo do sistema agrícola instalado, da profundidade avaliada, sendo um dos atributos mais sensíveis às transformações provocadas pelo manejo do solo (STEINER, et al. 2012).

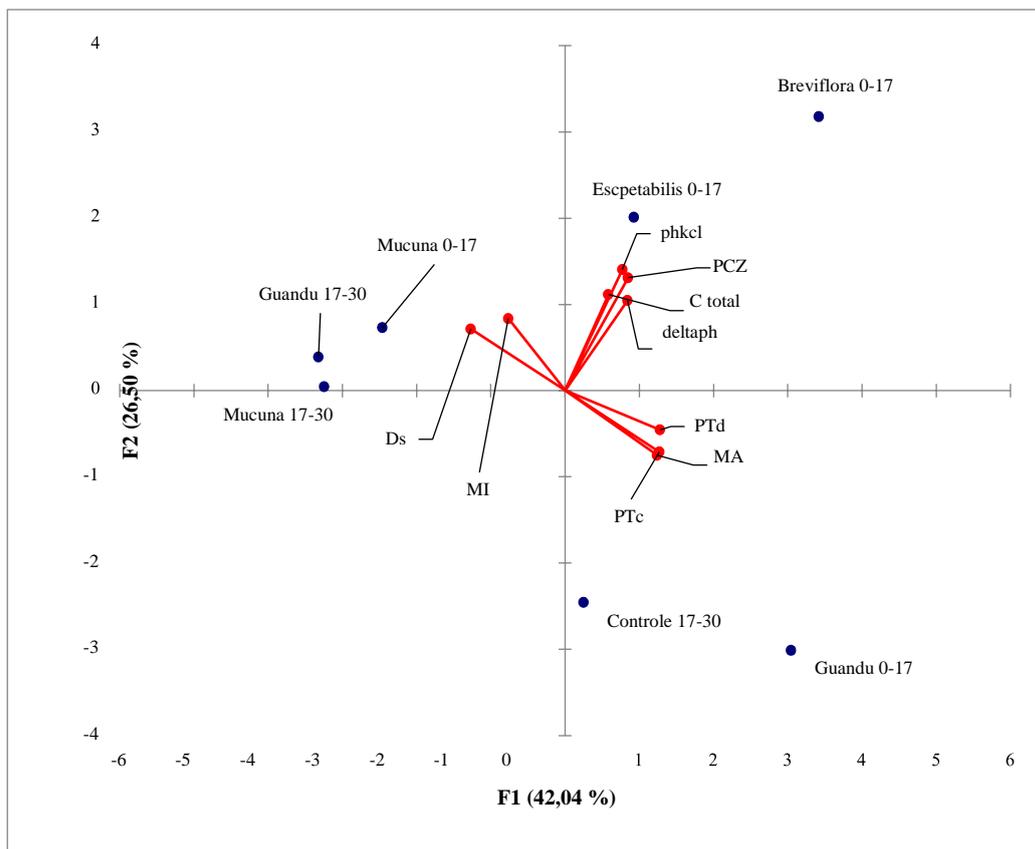
O acréscimo de MO ao solo propicia elevação da macroporosidade (SILVA et al., 2009), redução da Ds mediante a baixo peso molecular dos materiais orgânicos e a reestruturação do solo, pela formação de agregados mais estáveis (SILVA et al., 2015), além de favorecer a retenção de água no solo (SATO et al., 2012).

Segundo Sousa (2017), o uso de plantas de cobertura pode aumentar os teores de MO e melhorar a qualidade dos solos do Cerrado. *Crotalaria spectabilis*, vegetação espontânea, mucuna preta, *Brachiaria* ssp. e *Crotalaria oroleuca* são plantas que apresentam alta eficiência na ciclagem de nutrientes como o potássio (K) e alta eficiência no acúmulo de MO. Segundo os autores os maiores acúmulos de nutrientes na parte aérea e maior capacidade de estocar carbono foram a *Crotalaria spectabilis*, *Crotalaria juncea*, guandu-anão e fava larga, o que corrobora com o caso deste estudo, onde as *Crotalárias* apresentaram menores valores de acidez e boa capacidade de estocar carbono (EstC).

#### 4.4 Componentes principais

Verificou-se pela análise de componentes principais (ACP) que a distribuição das variáveis selecionadas apresentou variância acumulada de 68,54 % para os eixos F1 e F2, sendo que o eixo F1 foi capaz de explicar 42,04 % e o F2, 26,50 % dessa variância (Gráfico 1). Essa análise permitiu definir significativamente as inter-relação físico/química de adubos verdes com o Latossolo Vermelho.

**Gráfico 1** Análise multivariada dos componentes principais, correlação entre tratamentos e variáveis. pH<sub>H2O</sub>: em água, pH<sub>KCl</sub> = em cloreto de potássio, PCZ = ponto de carga zero, C total = Carbono orgânico total, deltaph = balanço de cargas, Ptd = Porosidade total determinada, Ptc = porosidade total calculada, MA = macroporosidade, MI = microporosidade, Ds = densidade do solo. Tratamentos: Gaundu-anão, Mucuna-preta, C.breviflora, C. spectabilis, Controle.



Sendo assim, ficou clara a contribuição de cada adubo verde avaliado. Para a componente F1 as variáveis físicas explicaram mais de 16% dos resultados e para a componente F2 mais de 20%, destacou-se as variáveis químicas, bem como as melhores interações ocorreram para o Gaundu-anão, Mucuna-preta e a C. breviflora (Tabela 6).

**TABELA 6.** Contribuição das variáveis e dos tratamentos analisadas (%)

Variáveis	F1	F2	Tratamento	F1	F2
pHH <sub>2</sub> o	0,08	7,12	Guandu-anão 0-0,017	18,37	28,52
pH <sub>k</sub> cl	5,93	19,68	Guandu-anão 0,17-0,30	21,88	0,48
ΔpH	7,08	10,93	C. breviflora 0-0,17	23,14	31,69
PCZ	7,17	17,09	C. breviflora 0,17-0,30	0,86	0,00
COT	3,40	12,38	Mucuna-preta 0-10,7	12,00	1,67
EstC	0,96	7,79	Mucuna-preta 0,17-0,30	20,89	0,01
Ds	16,12	5,08	Controle 0-0,17	0,00	5,43
PTd	16,35	2,09	Controle 0,17-0,30	0,12	19,00
MI	5,85	6,95	C. espectralis 0-0,17	1,71	12,69
MA	15,43	5,65	C. espectralis 0,17-0,30	1,03	0,52
PTc	16,12	5,08			
PB	5,52	0,17			

Por meio da análise de componentes principais (ACP), onde correlacionou os tratamentos e variáveis (Gráfico 1), foi possível verificar que houve a formação de três grupos de interação, onde a presença de Mucuna-preta e Guandu-anão, especialmente, na camada subsuperficial interagiram com o solo promovendo modificações na Ds e MI, sendo Ds = 1,42 para Guandu-anão e Ds = 1,42 para Mucuna-preta, bem como apresentou MI = 0,47 para o Guandu-anão e MI = 0,42 para a Mucuna-preta (Tabela 4), provavelmente devido ao crescimento das raízes estas promoveram uma pequeno ajuste dos agregados, deixando- os mais próximos o que conseqüentemente eleva a Ds e MI (COLLARES et al. 2007; CARDUCCI et al., 2014). Já para as duas espécies de Crotalarias utilizadas, *C. espectralis* e *C. breviflora*, observamos a maior participação de ambas na camada superior (0-0,17m) dentro do componente F2 (Tabela 6) representando com isso uma maior correlação com os atributos químicos do solo, conforme pode ser explicado por Sousa et al. (2017), onde apresentou um maior pH e maior estoque de carbono em comparação à parcela controle (Tabela 4), fator que pode estar relacionado a rápida decomposição de sua biomassa associada as condições edafoclimáticas, como ocorre também com a Mucuna- preta em alguns casos, e é contrária ao guandu-anão que apresenta baixa taxa de decomposição de biomassa (NASCIMENTO et al., 2016).

Quanto ao guandu-anão na camada de 0-0,17 m foi melhor explicados pelas Ma e PTd e PTc, como citado por Nascimento et al., (2016) a biomassa vegetal do guandu-anão é de difícil decomposição, o que favorece sobremaneira maior proteção da superfícies do solo o que conseqüentemente incrementa a porosidade do solo, pelo incremento da atividade biológica do solo (Moreira & Siqueira, 2002) como observado pela VESS (Tabela 2).

A parcela controle que não recebeu nenhum tipo de adubos verdes apresentou uma baixa correlação entre as variáveis F1 e F2, chegando a ser excluída da análise na profundidade de 0-0,17 m onde a percentagem de contribuição para as variáveis de física e química do solo foram tão baixas que essa profundidade foi excluída pela análise, sendo justificada pela VESS onde foi apontado que na camada superficial (0,17 – 0,30 m) havia qualidade estrutural 4 (Qe4) representando compactação e baixa porosidade. (Tabela 3).

Segundo Sousa (2017) o uso de plantas de cobertura pode aumentar os teores de matéria orgânica e melhorar a qualidade dos solos do Cerrado. *Crotalaria spectabilis*, vegetação espontânea, mucuna preta, braquiária e crotalaria oroleuca são plantas que apresentam alta eficiência na ciclagem de K e alta eficiência de acumular MO (Tabela 5). Segundo a autora os maiores acúmulos de nutrientes na parte aérea e maior capacidade de estocar carbono foram *crotalaria spectabilis*, *crotalaria juncea*, *guandu anão* e *fava larga*. Podemos com isso relacionar aos dados encontrados sobre as plantas utilizadas

De villa et al. (2017) estudando o impacto do uso de espécies de cobertura (*guandu anão*, *milheto*, *crotalaria juncea*, *crotalaria spectabilis* e *mucuna preta*) na estrutura de um Latossolo Argiloso e seus reflexos no rendimento de grão de soja, descobriu que as parcelas com *guandu anão* (GA) apresentou menor Ds (0,87 Mg m<sup>-3</sup>) que no período anterior (1,04 Mg m<sup>-3</sup>). Essa mesma espécie segundo De Villa et al. Também apresentou maior valor de PT (64,49%), tais valores encontrados pelo autor justificam os encontrados no presente trabalho onde *Guandu-anão* também foi significativo em apresentar uma menor Ds como mostra os dados médios da avaliação física do solo (Tabela 4) e apresentou boas características físicas do solo como observado pela VESS (Tabela 3).

Os resultados da ACP corroboram com as correlações encontradas pela técnica de Pearson, houve correlação forte e positiva entre COT e acidez, entre Ds e MI e negativa entre a Ds e a PTd (Tabela 7). Os adubos que contribuem com a elevação da fitomassa vegetal sobre a superfície do solo contribuíram com alterações positivas nos valores de COT e EstC como verificado pela *C. spectabilis*, entretanto outras que apresentam maior relação C/N (Moreira e Siqueira, 2007) promoveram melhorias de ordem física do solo, pelo reajuste das partículas elevando a microporosidade responsável pela retenção de água no solo (SILVA et al., 2013).

**TABELA 7.** Correlação dos componentes principais através da análise de Pearson.

Var.	pHH <sub>2</sub> O <sup>(1)</sup>	pHKCl <sup>(2)</sup>	ΔpH <sup>(3)</sup>	PCZ <sup>(4)</sup>	COT <sup>(5)</sup>	Est <sup>(6)</sup>	Ds <sup>(7)</sup>	PTd <sup>(8)</sup>	MI <sup>(9)</sup>	MA <sup>(10)</sup>	PTc <sup>(11)</sup>	PB <sup>(12)</sup>
<b>pHH<sub>2</sub>O</b>	<b>1</b>											
<b>pHKCl</b>	0,5322	<b>1</b>										
<b>ΔpH</b>	-0,0909	<b>0,7948</b>	<b>1</b>									
<b>PCZ</b>	0,2594	<b>0,9557</b>	<b>0,9382</b>	<b>1</b>								
<b>COT</b>	<b>0,689</b>	<b>0,6961</b>	0,3248	0,5545	<b>1</b>							
<b>Est</b>	0,01	0,3078	0,3549	0,3477	0,4498	<b>1</b>						
<b>Ds</b>	0,0727	-0,1938	-0,28	-0,246	-0,155	0,0779	<b>1</b>					
<b>PTd</b>	-0,1633	0,2738	0,4391	0,3691	0,1071	0,1025	<b>-0,9322</b>	<b>1</b>				
<b>MI</b>	-0,1987	0,023	0,1695	0,0953	-0,2274	0,1704	<b>0,6741</b>	-0,4048	<b>1</b>			
<b>MA</b>	0,0037	0,1637	0,1898	0,1854	0,1936	-0,027	<b>-0,9693</b>	<b>0,8655</b>	<b>-0,808</b>	<b>1</b>		
<b>PTc</b>	-0,0727	0,1938	0,28	0,2463	0,155	-0,0779	<b>-1</b>	<b>0,9322</b>	<b>-0,674</b>	<b>0,969</b>	<b>1</b>	
<b>PB</b>	-0,4842	0,0795	0,4406	0,2589	-0,0886	0,522	-0,4048	0,6021	-0,006	0,391	0,4048	<b>1</b>

<sup>(1)</sup>pH H<sub>2</sub>O: em água; <sup>(2)</sup>pH em KCl: em cloreto de potássio; <sup>(3)</sup>ΔpH: variação do Ph; <sup>(4)</sup>PCZ: Ponto de carga zero; <sup>(5)</sup>COT: carbono orgânico total; <sup>(6)</sup>Est.C: Estoque de carbono; <sup>(7)</sup>Ds: densidade do solo; <sup>(8)</sup>PTd: porosidade total determinada; <sup>(9)</sup>MI: microporosidade; <sup>(10)</sup>MA: macroporosidade; <sup>(11)</sup>PTc: porosidade potencial total; <sup>(12)</sup>PB: poros bloqueados.

Esses resultados com guandu-anão pode-se justificar pelo fato de ser uma planta de cobertura que melhora as características físicas do solo, pelo fato de apresentar um sistema radicular profundo e vigoroso, sendo que quanto maior a abrangência de seu sistema radicular, maiores as quantidades de bioporos deixado pela cultura e consequentemente se consegue ter maior espaços vazios em um determinado volume de solo, resultando em uma maior percolação de água no perfil (DE VILLA, 2017).

## 5. CONCLUSÃO

1. A utilização do método de análise visual da estrutura do solo (VESS) foi eficiente na caracterização da estrutura do Latossolo Vermelho Distroférrico, apresentando resultados que corroboraram com os dados laboratoriais físicos, como a de densidade do solo, macro e microporosidade e agregação.
2. Os baixos valores de EV indicaram melhorias estruturais promovidas pelo adubo verde, pela contribuição por meio da incorporação da MOS, COT, EstC e redução da acidez, promovendo dessa forma o rompimento de camadas mais compactas em profundidade e promovendo a ação de organismos da fauna do solo (galerias, bioporos visualizados a campo). O maior EV no tratamento controle (EV= 3,3) se justifica pelo histórico de pousio associado a sucessivas araões e/ou gradagens pesada, degradando a estrutura do solo.
3. As duas espécies de crotalarias na camada superficial (0-0,17 m) modificaram os atributos químicos do solo, aumentando o estoque de carbono e conteúdo de matéria orgânica do solo (MOS), principalmente na camada de 0-0,17 m.
4. Guandu-anão e Mucuna-preta apresentaram correlação positiva e forte contribuição nas variáveis físicas do solo.
5. A indicação da melhor espécie dependeria do interesse, para melhoria em ciclagem de nutrientes e incorporação no solo as crotalárias apresentam destaque, devido sua rápida decomposição, em relação a melhoria nos atributos físico do solo guandu-anão e mucuna-preta se destacam positivamente.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, J.A.; REINERT, D.J.; FIORIN, J.E.; RUEDEL, J.; PETRERE, C. & FONTINELLI, F. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: Efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.19, p.115-119, 1995.
- ALCÂNTARA, F. A. DE.; NETO, A. E. F.; PAULA, M. B. DE.; MESQUITA, H. A. DE.; MUNIZ, J. A. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um latossolo vermelho-escuro degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.2, p.277- 288, 2000.
- ALVARENGA, R. C.; COSTA, L. M. da; FILHO, W. M.; REGAZZI, A. J. Características de alguns adubos verdes de interesse para a conservação e recuperação de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 30, n. 2, 175-185, 1995.
- 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**, Maringá, v. 26, n. 1, p. 27-34, 2004.
- ALVES, M. C.; BOLONHEZI, A. C.; RESSUDE, M. A. Adubação verde em citrus: efeito nas propriedades químicas do solo. In: **Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas**, 22, 1996, Manaus. Resumos. Manaus: Universidade do Amazonas, p.482-483, 1996.
- ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A. S.; SUZUKI, L. E. A. S. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um latossolo vermelho distrófico em recuperação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 617-625, 2007.
- ANDRADE, L. A. de B.; ABRAHÃO, J. T. M.; GODOY, O. P. **Efeitos da incorporação de *Crotalaria juncea* L. sobre a cana-de-açúcar**. I. Efeito no desenvolvimento inicial. STAB, Piracicaba, v.2, n.3, p.40-43, 1984.
- ARAI, F.K. Espacialização da precipitação e erosividade na Bacia Hidrográfica do Rio Dourados - MS. **Engenharia Agrícola**., v. 30, n. 5, p. 922-931, 2010.
- ARGENTON J.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C. & WILDNER, L.P. 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**., v. 29, p. 425-435, 2005.
- BALL, B. C.; BATEY, T.; MUNKHOLM, L. J. Field assessment of soil structural. Quality: a development of the Peerlkamp test. **Soil Use and Management**, v. 23, p. 329– 337, 2007.
- BARBOSA, J.S.; CARDUCCI, C.E.; KOHN, L.S.; SILVA, K.C.R.; SILVA, E.A.; SANTOS, K.L. Eletroquímica e carbono orgânico de um cambissolo húmico no planalto catarinense sob sistema agroflorestal. **REVISTA SCIENTIA AGRARIA**, vol. 17 n. 2 Curitiba abril/maio, p. 49-56 .56, 2016.

BARRETO, A. C. & FERNANDES, M.F. Recomendações técnicas para o uso da adubação verde em solos de tabuleiros costeiros. Circular Técnica n. 19, **Embrapa Tabuleiros Costeiros** – Aracaju, SE, p. 2-3, 2001.

BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 105-112, 1997.

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

BERNARDES, T. G.; SILVEIRA, P. M.; MESQUITA, M. A. M.; AGUIAR, R. A.; MESQUITA, G. M. Decomposição da biomassa e liberação de nutrientes dos capins braquiária e mombaça, em condições de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 3, p. 370-377, 2010.

CALEGARI, A. **Aspectos gerais da adubação verde**. In: COSTA, M.B.B., coord. Adubação verde no sul do Brasil. Rio de Janeiro, Pta/Fase, p.1-55, 1993.

CALVO, C.L; FOLONI, J. S. S.; BRANCALIÃO, S.R. **Produtividade de fitomassa e relação C/N de monocultivos e consórcios de guandu-anão, milho e sorgo em três épocas de corte**. *Bragantia*, Campinas, v.69, n.1, p.77-86, 2010.

CARDUCCI, C. E.; OLIVEIRA, G. C. de; LIMA, J. M.; ROSSONI, D. F.; COSTA, A. L. da; OLIVEIRA, L. M. Distribuição espacial das raízes de cafeeiro e dos poros de dois Latossolos sob manejo conservacionista. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 3, p. 270-278, 2014.

CARDUCCI, C. E.; ZINN, Y. L.; ROSSONI, D. F.; HECK, R. J.; OLIVEIRA, G. C. Visual analysis and X-ray computed tomography for assessing the spatial variability of soil structure in a cultivated Oxisol. **Soil and Tillage Research**, v. 1, p. 12-24, 2016.

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 de amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 22, p. 527-38, 1998.

CHARCHAR, J. M.; MOITA, A. W. Controle de *Meloidogyne javanica* em tomate-salada e feijão-de-vagem com o cultivo de *Crotalaria spectabilis*. **Embrapa Hortaliças**, n.32, p.1-6, 1999.

CREMON, C. Levantamento dos atributos de um Inceptisol influenciados por diferentes sistemas de cultivo de arroz no norte da Itália. 2007. 87 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – **Programa de Pós-Graduação em Agronomia da UFGD**. Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados – MS, 2007.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Solos. Manual de métodos de análise de solo. **Embrapa Solos**. p. 225, 2011.

ESPÍNDOLA, J.A.A.; GUERRA, J.G.M.; ALMEIDA, D.L. de. Adubação verde: Estratégia para uma agricultura sustentável. Seropédica: **Embrapa Agrobiologia**, p. 20, 1997.

FACHINELLO, J. C.; COUTINHO, E. F.; MARODIN, G. A. B.; BOTTON, M.; DE MIO, L. L. M. **Normas técnicas e documentos de acompanhamento da produção integrada de pêssego**. Pelotas: UFPel/FAEM, p. 92, 2003.

FAVERO, C.; LOVO, I. C.; MENDONÇA, E. S. Recuperação de Área Degradada com Sistema Agroflorestal no Vale do Rio Doce, Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 32, n. 5, p. 861-868, 2008.

FERREIRA, L. E.; SOUZA, E. P.; CHAVES, A. F. Adubação verde e seu efeito sobre os atributos do solo. Disponível em: <<http://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/681>>. Acesso em: 20 dez. 2018.

FERREIRA, M. M.; FERNADES, B.; CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 3, p. 515-524, jan./fev. 1999.

FOLONI, J. S. S.; LIMA, S. L. & BÜLL, L. T. Crescimento aéreo e radicular da soja e de plantas de cobertura em camadas compactadas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 49-57, 2006.

FONTES, M. P. F.; CAMARGO, O. A.; SPOSITO, G. Eletroquímica das partículas coloidais e sua relação com a mineralogia de solos altamente intemperizados. **Scientia Agrícola**, v. 58, n. 3, p. 627-646, 2001.

GARCIA, J. M.; KAWAKITA, K.; MIOTTO, S. T. S.; SOUZA, M. C. de. O gênero *Crotalaria* L. (Leguminosae, Faboideae, Crotalarieae) na Planície de Inundação do Alto Rio Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 11, n. 2, p. 209-226, 2013.

GATTO, A. **Estoques de carbono no solo e na biomassa de plantações de eucalipto na Região Centro-Leste de Minas Gerais**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, p.159, 2005. (Tese de Doutorado).

GENRO JUNIOR, S.A. **Alteração da compactação do solo com o uso de rotação de culturas no sistema plantio direto**. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, p.90, 2002, (Tese de Mestrado).

GERAHTY, N.; et al. Anatomical analysis of nodule development in soybean reveals an additional autoregulatory control point. **Plant Science**, v.58, p.1-7, 1992.

GIAROLA, N.F.B.; SILVA, A.P.; TORMENA, C.A.; GUIMARÃES, R.M.L.; BALL, B. On the Visual Evaluation of Soil Structure: The Brazilian experience in Oxisols under no-tillage. **Soil & Tillage Research**, v.127, p.60-64, 2013.

GIONGO, V.; MENDES, A. M. S.; CUNHA, T. J. F.; GALVÃO, S. R. S. Decomposição e liberação de nutrientes de coquetéis vegetais para utilização no semiárido brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 3, p. 611- 618, 2011.

GUERRA, J. G. M.; DE-POLLI, H.; ALMEIDA, D. L. de. Managing carbon and nitrogen in tropical organic farming through green manuring. In: ADETOLA BADEJO, M.; TOGUN, A. O. (Ed.). **Strategies and tactics of sustainable agriculture in the tropics**. Ibadan: College Press, v. 2, p. 125-140, 2004.

GUIMARÃES, R. M. L. G.; BALL, B. C.; TORMENA, C. A.; GIAROLA, N. F. B.; SILVA, A. P. SILVA. **Soil and Tillage Research**. V. 127, p. 92-99, 2013.

GUIMARÃES, R. M. L.; BALL, B. C.; TORMENA, C. A. Improvements in the visual GUIMARÃES, R. M. L.; BALL, B. C.; TORMENA, C. A.; GIAROLA, N. F. B.; SILVA, A. P. Relating visual evaluation of soil structure to other physical properties in soils of contrasting texture and management. **Soil and Tillage Research**, v.127, p.92-99, 2013.

JOHANNES, A.; WEISSKOPF, P.; SCHULIN, R.; BOIVIN, P. To what extent do physical measurements match with visual evaluation of soil structure. **Soil and Tillage Research**, 2016.

KER, J. C. **Latossolos do Brasil: uma revisão**. Geonomos, Belo Horizonte, v. 5, n. 1, p. 17-40, jan./jun. 1997.

KOEPPEN, W. Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra. **México: Fondo de Cultura Economica**, 1948.

LEITE, L. F. C.; FREITAS, R. C. A.; SAGRILO, E.; GALVÃO, S. R. S. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos vegetais depositados sobre Latossolo Amarelo no cerrado maranhense. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 1, p. 29-35, 2010.

MADARI, B. E.; MACHADO, P. L. O. A.; TORRES E.; ANDRADE, A. G.; VALENCIA, L. I. O. No tillage and crop rotation effects on soil aggregation and organic carbon in a Rhodic Ferralsol from southern Brazil. **Soil and Tillage Research**. v. 80, p. 185-200, 2005.

MINATEL, A. L. G.; ANDRIOLI, I.; CENTURION J. F. ET AL. **Efeitos da subsolagem e da adubação verde nas propriedades físicas do solo em pomar de citros**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.26, n.1, p.86-95, 2006.

MIYASAKA, S.; CAMARGO, O.A DE; CAVALERI, P. A.; GODOY, I. J. de; WERNER, J. C.; CURTI, S. M.; LOMBARDI NETO, F.; MEDINA, J. C.; CERVELLINI, G. S.; BULISANI, E. A. Adubação orgânica, adubação verde e rotação de culturas no Estado de São Paulo. In: **FUNDAÇÃO CARGILL**. Adubação orgânica, adubação verde e rotação de culturas no Estado de São Paulo. Campinas, parte 1, p.1-109, 1984.

MONCADA, P. M.; GABRIELS, D.; LOBO, D.; REY, J. C.; CORNELIS, W. M. Visual field assessment of soil structural quality in tropical soils, **Soil and Tillage Research**, v.139, p.8-18, 2014.

- MOREIRA, F. M. S.; HUISING, E. J.; BIGNELL, D. E. **Manual de biologia dos solos tropicais: amostragem e caracterização da biodiversidade**. Lavras: UFLA, p. 368, 2010.
- MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Editora UFLA, p. 626, 2002.
- NASCIMENTO, J. T.; SILVA, I. F.; SANTIAGO, R. D.; SILVA NETO, L. F. 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, p.457- 462, 2003.
- PERIN, A., SANTOS, R.H.S., URQUIAGA, S., GUERRA, J.G.M., CECON, P.R. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.39, p.35-40, 2004.
- PRICE, N. J. P.; WHITTINGHAM, M. J.; CHAMBERS, B. J.; PEEL, S. Visual soil evaluation in relation to measured soil physical properties in a survey of grassland soil compaction in England na Wales. **Soil and Tillage Research**, v.127, p.65-73,2013.
- REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. & BRAIDA, J.A. Qualidade do solo e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Revista de Ciências Ambientais**., 27:29-48, 2003.
- 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**, 32: 1805-1816, 2008.
- ROTH, C.H.; CASTRO-FILHO, C. & MEDEIROS, G.B. Análise de fatores físicos e químicos relacionados com a agregação de um Latossolo Roxo distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.15, p.241-248, 1992.
- SALGADO, A.L.B.; AZZINI, A.; FEITOSA, C.T; PETINELLI, A.; VEIGA, A. A. **Efeito da adubação NPK na cultura da Crotalária**. *Bragantia*, v.41, p.21-33, 1982.
- SANTOS, G. G.; SILVEIRA, P. M.; MARCHÃO, R. L.; BECQUER, T.; BALBINO, L. C. Macrofauna edáfica associada a plantas de cobertura em plantio direto em um Latossolo Vermelho do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.1, p.115-122, 2008.
- SANTOS, H.G. dos; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; ANJOS, L.H.C. dos; OLIVEIRA, V.A. de; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A. de; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J.B. de. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa, v. 3, p. 353, 2013.
- SATO, J. H.; FIGUEIREDO, C. D.; LEÃO, T. P.; RAMOS, M. L.; KATO, E. Matéria orgânica e infiltração da água em solo sob consórcio milho e forrageiras. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.189-193, 2012.

SEVERIANO, E. C.; OLIVEIRA, G.C; CURI, N.; DIAS JÚNIOR, M.S.; Potencial de uso e qualidade estrutural de dois solos cultivados com cana-de-açúcar em Goianésia, GO. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n. 1, p. 159-168, jan./fev. 2009.

SILVA, E. A.; OLIVEIRA, G. C.; CARDUCCI, C. E.; SILVA, B. M.; OLIVEIRA, L. M.; COSTA, J. C. Doses crescentes de gesso agrícola, estabilidade de agregados e carbono orgânico em Latossolo do Cerrado sob Cafeicultura. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 56, n. 1, p. 25-32, 2013.

SILVA, E.A.; CARDUCCI, C.E.; OLIVEIRAC.E.; OLIVEIRA, G.C.; SILVA, B.M.; SERAFIM, M.E. Estrutura de solos em manejo conservacionista: diagnóstico visual, laboratorial, caracterização e inter-relações. **REVISTA SCIENTIA AGRARIA** vol. 18 n°. 3, p. 61-73, 2017.

SILVA, E.A.; OLIVEIRA, G.C.; CARDUCCI, C.E.; SILVA, B.M.; OLIVEIRAB.M.; OLIVEIRA, L.M.; COSTA, J.C. Doses crescentes de gesso agrícola, estabilidade de agregados e carbono orgânico em Latossolo do Cerrado sob Cafeicultura. **Revista de Ciências Agrárias**., v. 56, n. 1, p. 25-32, jan./mar. 2013.

SILVA, M. M.; ALVES, M. C.; SOUSA, A. D. P.; FERNANDES, F. C. S. Plantas de cobertura e sistemas de preparo: impactos na qualidade física de um solo de Cerrado. **Revista Ceres**, v. 56, 2015.

SILVA, M. M.; ALVES, M. C.; SOUSA, A. P.; FERNANDES, F. C. S. Plantas de cobertura e sistemas de preparo: impactos na qualidade física de um solo de Cerrado. **Revista Ceres**, v. 56, p. 103-111, 2009.

SOUSA, D. C. **Desempenho de plantas de cobertura e alterações nos atributos químicos e microbianos do solo no Cerrado**. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal do Piauí, p. 1-11, 2017

SOUZA, C.M. de., PIRES, F.R. **Adubação verde e rotação de culturas (caderno didático)**, Viçosa - MG: Universidade Federal de Viçosa, 72p, 2002.

STEINER, F.; PIVETTA, L. A.; ZOZ, T.; JUNIOR, A. S. P. Estoque de carbono orgânico no solo afetado por adubação orgânica e sistemas de culturas no Sul do Brasil. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, suplemento 1, p. 2775-2788, 2012.

TAÍZ, L.; ZIEGER, E. **Fisiologia vegetal**. Trad. SANTARÉM, E.R. et al., 3º ed., Porto Alegre: Artemed, p. 719, 2004.

TORMENA, C. A.; FILHO, P. S. V.; GONÇALVES, A. C. A.; ARAÚJO, M. A.; PINTO, J. C. Influência de diferentes sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, DEAg/UFCG, v.8, n. 1, p.65-71, 2004.

TORMENA, C.A.; FRIEDRICH, R.; PINTRO, J.C.; COSTA, A.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 Ciências do Solo**, 28:1023-1031, 2004.

UEHARA, G.; GILLMAN, G. P. Charge characteristics of soils with variable and permanent charge minerals: I. Theory. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, n. 2, p. 250-252, 1980 a.

UEHARA, G.; GILLMAN, G. P. Charge characteristics of soils with variable and permanent charge minerals: II. Experimental. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, n. 2, p. 252-255, 1980 b.

VILLA, D. B.; SECCO, D.; TOKURA, L. K.; PILATTI, M. A.; MOREIRA, M. C. D. L.; MARTINS, M. F. L. Impacto do uso de espécies de cobertura na estrutura de um latossolo Argiloso e seus reflexos no rendimento de grãos de soja. **Acta Iguazu**, Cascavel, v.6, n.2, p. 1-12, 2017.

WALKLEY, A. & BLACK, I.A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration. **Soil Science Society**, v. 37, p. 29-38, 1934.

