



PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE MESTRADO EM ECOLOGIA E PRODUÇÃO
SUSTENTÁVEL

MALVA AUXILIADORA LOBO NERY

**AVALIAÇÃO DO ESTADO FÍSICO DE SOLO DO CERRADO ANTES E
APÓS O CULTIVO DE DUAS ESPÉCIES DE LEGUMINOSAS**

GOIÂNIA, GO
2015

MALVA AUXILIADORA LOBO NERY

**AVALIAÇÃO DO ESTADO FÍSICO DE SOLO DO CERRADO ANTES E
APÓS O CULTIVO DE DUAS ESPÉCIES DE LEGUMINOSAS**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ecologia e Produção Sustentável da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ecologia e Produção Sustentável.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Toledo de Magalhães

GOIÂNIA, GO
2015

Dados Internacionais de Catalogação da Publicação (CIP)
(Sistema de Bibliotecas PUC Goiás)

Nery, Malva A. Lobo.

N456a Avaliação do estado físico de solo do cerrado antes e após o cultivo de duas espécies de leguminosas [manuscrito] / Malva Auxiliadora Lobo Nery – Goiânia, 2015.

84 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ecologia e Produção Sustentável, 2015.

“Orientador: Prof. Dr. Roberto Toledo de Magalhães”.

Bibliografia.

1. Solos – Análise. 2. Solos – Compactação. 3. Leguminosa.
I. Título.

CDU 631.4(043)

MALVA AUXILIADORA LOBO NERY

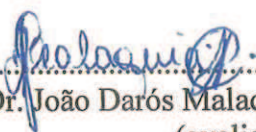
**AVALIAÇÃO DO ESTADO FÍSICO DE SOLO DO CERRADO ANTES E APÓS O
CULTIVO DE DUAS ESPÉCIES DE LEGUMINOSAS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DEFENDIDA E APROVADA EM 24 DE MARÇO DE 2015

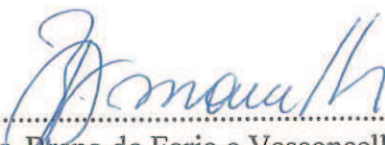
BANCA EXAMINADORA



.....
Prof. Dr. Roberto Toledo de Magalhães / PUC Goiás
(presidente-orientador)



.....
Prof. Dr. João Darós Malaquias Júnior / UniEVANGÉLICA
(avaliador externo)



.....
Prof. Dr. Breno de Faria e Vasconcellos / PUC Goiás
(avaliador interno)

Dedico este trabalho, primeiro a Deus e a toda minha família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, sobretudo a Deus, pois sem Ele jamais conseguiria superar todas as dificuldades encontradas nos caminhos que percorri para a realização deste projeto. A Ele que durante todo o tempo me iluminou, abençoou e protegeu desde o início até o final.

De maneira especial à minha família, ao meu esposo Ricardo, por todo amor, apoio nos momentos em que precisei de socorro e pela compreensão dos vários momentos de minha ausência; aos meus filhos, Rafael e Renato, pelo amparo e também compreensão de minha ausência; aos meus pais, Jamil de Souza Lobo e Ivanilde Moreira Lobo, por todo amor, carinho, educação, proteção e por ter acreditado; à minha irmã Malta e minha sobrinha Patrícia, por todo apoio e incentivos tão importantes para minha sustentação; à minha tia Berenice Moreira, pelo amor e carinho, e por confiar e acreditar em mim.

Aos Professores do Programa de Mestrado em Ecologia e Produção sustentável, pelas informações tão relevantes ao nosso conhecimento e crescimento profissional.

Ao meu orientador, Professor Dr. Roberto Toledo de Magalhães/PUC Goiás, pelo suporte e contribuição nos estudos e pela oportunidade de aprendizado.

Ao Professor Dr. João Darós Malaquias Júnior/PUC Goiás/UniEVANGÉLICA, por todo apoio, atenção e assistência a todo o desenvolvimento da parte de campo do projeto.

Ao Professor Dr. Breno de Faria e Vasconcellos/PUC Goiás, pela contribuição da correção na parte de estatística do trabalho.

À Professora Dra. Marilda da Conceição Ribeiro e Barros (Lab. de Sementes/ITS/PUC-GO), e ao Professor Dr. Werner (Lab. de Solos/PUC-GO) pela contribuição e incentivo ao longo do projeto.

À Professora Dra. Danielle Silva Beltrão (PUC Goiás/UFG), pela atenção e contribuição nos estudos deste trabalho.

Aos alunos do Curso de Zootecnia (Campus II/PUC), pelo auxílio e contribuições no campo e laboratórios às diversas etapas do projeto.

Ao Sr. Itamar Liniro Januário (ITS/PUC-GO), por todo apoio e dedicação nos trabalhos de campo.

Ao Carlos Roberto Alves dos Santos, Gerente de Proteção Ambiental e Labo-

ratórios da Saneago, pela contribuição e dedicação na parte de estatística do trabalho.

Ao Arlindo Ferreira da Silva, Técnico de Apoio do Laboratório de Zootecnia pelos momentos de atenção e colaboração.

Aos amigos, pela torcida e incentivo.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás - FAPEG, pela bolsa de estudo concedidas.

MUITO OBRIGADA...

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização geográfica da área de estudo. Departamento de Zootecnia do Campus II da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, no Município de Goiânia, GO.....	41
Figura 2 - Resultados médios da resistência mecânica do solo à penetração (RMSP/MPa) das fileiras do Estilosantes C. G. (a), Feijão Guandu (b) e Testemunha (c), dos pontos A e B.....	46
Figura 1 - Localização geográfica da área de estudo. Departamento de Zootecnia do Campus II da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, no Município de Goiânia, GO.....	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estatística descritiva e dispersão da resistência mecânica do solo à penetração (RMSP/MPa) na área de estudo.....	44
Tabela 2 - Valores médios de resistência do solo à penetração (MPa), em camadas de solo na área estudo.	48
Tabela 1 - Valores médios de densidade do solo (g/cm^3), em duas profundidades (0-10 e 10-20) na área de estudo.	69

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL.....	10
2 REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1 Leguminosas	12
2.1.1 Leguminosas e fixação biológica de nitrogênio	14
2.1.2 As raízes das leguminosas.....	15
2.2 Estilosantes Campo Grande (<i>Stylosanthes capitata</i> e <i>Stylosanthes macrocephala</i>).....	18
2.2.1 Histórico	19
2.2.2 Características morfológicas da cultivar	20
2.2.3 Descrição da espécie <i>S. capitata</i>	20
2.2.4 Descrição da espécie <i>S. macrocephala</i>	21
2.3 Feijão Guandu (<i>Cajanus cajan</i>)	22
2.3.1 Origem.....	23
2.3.2 Descrição e características morfológicas	23
2.3.3 Clima e Solo	24
2.4 Braquiárias.....	25
2.4.1 <i>Brachiaria decumbens</i> , STAPF	27
2.4.2 <i>Brachiaria decumbens</i> c.v. Basilisk	28
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30
CAPÍTULO I RESISTÊNCIA MECÂNICA À PENETRAÇÃO DE SOLO DO CERRADO	35
1 INTRODUÇÃO	37
2 REVISÃO DE LITERATURA	38
3 MATERIAL E MÉTODOS	41
3.1 Caracterização da Área de Estudo	41
3.2 Resistência Mecânica à Penetração	42
3.3 Tratamento Estatístico dos Dados	42
3.4 Cultivo das Leguminosas	43
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
CONCLUSÕES	50
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51

CAPÍTULO II DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DE SOLO DO CERRADO	54
1 INTRODUÇÃO	56
2 REVISÃO DE LITERATURA	58
2.1 Solo do cerrado	62
3 MATERIAL E MÉTODOS	65
3.1 Caracterização da Área de Estudo	65
3.2 Cultivo das Leguminosas	66
3.3 Avaliação das Propriedades Físicas.....	67
3.4 Análises laboratoriais das amostras	67
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	69
CONCLUSÕES	71
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72
APÊNDICES	76

1 INTRODUÇÃO GERAL

Áreas na Região do Cerrado que foram ocupadas com a expansão da Agricultura, após alguns anos de exploração e consequentemente degradação, tornam-se improdutivas e, por isso, são abandonadas.

Nesse sentido, a adubação verde tem a proposta de preservar e resgatar os teores de matéria orgânica e de nutrientes do solo, conforme a tendência mundial, que busca alimentos mais saudáveis, de preferência produzidos pela Agricultura Sustentável; com a mínima utilização de insumos químicos e mínima degradação do Meio Ambiente.

Uma alternativa para a recuperação de áreas degradadas tem sido a utilização de leguminosas. Essas plantas apresentam qualidades capazes de proporcionar diversos benefícios ao solo: formação e estabilização de agregados; produção e incorporação de matéria orgânica; estimulação de processos químicos e biológicos diversos; sistema radicular profundo e ramificado que aprofunda bem nas camadas do solo e, ainda, o poder de utilizar a própria vegetação para proteger o solo contra a erosão.

As espécies de leguminosas, tanto arbóreas, quanto herbáceas são capazes de recuperar áreas degradadas com sucesso. Dessa forma tem o poder de formar simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico e com fungos micorrízicos. Esta técnica, se colocada em prática de maneira correta, pode ter um custo baixo e com bons resultados capazes de atender as expectativas; consequentemente, melhorar a produção das culturas.

Esse equilíbrio entre cultura e ambiente é conquistado com base nas propriedades físicas do solo, que é considerada parte do alicerce para o sucesso dos cultivos. Entre as consequências da compactação do solo causada pelo tráfego de máquinas e implementos agrícolas, está a redução dos macroporos, que ocasiona aumento na resistência mecânica à penetração vertical das raízes da maioria das culturas e redução da infiltração de água no solo. Entretanto, o adubo verde tem sido utilizado como uma medida biológica para amenizar os problemas da compactação do solo, por reduzir a sua resistência à penetração.

A técnica da adubação verde pode ainda ajudar no controle de plantas invasoras que afetam as culturas e, também, potencializar de forma significativa as características físicas, químicas e biológicas de solos degradados.

Neste sentido, o uso dos adubos verdes (como as leguminosas) destaca-se por sua influência na melhoria das propriedades físicas do solo, pois interferem positivamente em suas características e, conseqüentemente, aumenta a produtividade das culturas, tornando o sistema de produção mais sustentável.

Assim objetivou-se neste trabalho avaliar, por meio da densidade aparente e da resistência mecânica à penetração, o efeito do cultivo de Estilosantes Campo Grande e de Feijão Guandu sobre as características físicas do solo de Cerrado.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A presente revisão limita-se de forma prática aos conceitos de duas espécies de leguminosas e da espécie braquiária, nos seus aspectos morfológicos, fisiológicos e químicos.

2.1 Leguminosas

A família botânica Leguminosae é dotada de mais de 650 gêneros e, dentre eles, uma distribuição de representantes herbáceos, arbustivos e arbóreos, sendo considerada uma das mais importantes nos trópicos e conhecida pela sua complexidade biológica (FRANCO *et al.*, 2003).

Leguminosas são plantas melhoradoras do solo por se destacarem entre os vegetais pela capacidade de melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Possuem a característica marcante de obter a maioria do nitrogênio de que necessitam, utilizando a simbiose, em associação com bactérias dos gêneros *Rhizobium* e *Bradyrhizobium*. Essas bactérias associam-se com as leguminosas, captam o nitrogênio atmosférico sendo capaz de transformá-lo em compostos nitrogenados (EMBRAPA, 2004). Outra característica marcante das leguminosas conforme a Embrapa (2004), são as raízes geralmente bem ramificadas e profundas capazes de proporcionar benefícios ao solo por estabilizar sua estrutura e reciclar nutrientes.

As leguminosas são consideradas adubos verdes que determinam certas exigências com relação à fertilidade do solo e ao clima, tanto que, plantas mais rústicas podem se desenvolver melhor em solos pobres e plantas mais sensíveis tendem a se desenvolver bem em solos férteis (EMBRAPA, 1997). Adubos verdes são essencialmente espécies vegetais capazes de propiciar a melhoria dessas propriedades do solo fundamentais para a proteção do mesmo contra fatores agressivos; erosão e compactação, além de agir como inibidores do crescimento de plantas invasoras (POWERS; MCSORLEY, 2000).

Em um estudo de Milan *et al.* (1990, 1991) ficou demonstrado a importância de analisar as condições edafoclimáticas de diferentes regiões. Desta forma, eles mostraram uma lista de algumas espécies de leguminosas que estão de acordo com

seu comportamento em ambientes variados:

(a) Leguminosas adaptadas às baixadas úmidas:

- Centrosema (*Centrosema pubescens*)
- Cudzu (*Pueraria phaseoloides*)

(b) Leguminosas adaptadas às condições de fogo:

- Centrosema (*Centrosema pubescens*)
- Siratro (*Macroptilium atropurpureum*)
- Soja perene (*Glycine wightii*)

(c) Leguminosas adaptadas às condições de frio:

- Ervilhaca (*Vicia sativa*)
- Trevo branco (*Trifolium repens*)
- Trevo vermelho (*Trifolium pratense*)

(d) Leguminosas adaptadas às condições de seca:

- Feijão bravo do Ceará (*Canavalia brasiliensis*)
- Feijão mungo (*Vigna radiata*)

(e) Leguminosas adaptadas às condições de sombreamento:

- Cudzu (*Pueraria phaseoloides*)
- Feijão de porco (*Canavalia ensiformis*)
- Trevo branco (*Trifolium repens*)

(f) Leguminosas adaptadas às condições de baixa fertilidade do solo:

- *Crotalaria spectabilis*
- Feijão bravo do Ceará (*Canavalia brasiliensis*)
- Feijão de porco (*Canavalia ensiformis*)
- Guandu (*Cajanus cajan*)
- Indigofera (*Indigofera spp.*)

2.1.1 Leguminosas e fixação biológica de nitrogênio

Uma das características mais relevantes das leguminosas está na capacidade de fixar biologicamente o nitrogênio atmosférico no sistema solo planta, com o potencial de incluir cerca de 170×10^9 kg de N/ano (PEOPLES; CRASWELL, 1992), sendo que nas leguminosas fixadoras de N, em média 75% do N é obtido por meio da fixação biológica (TISDALE *et al.*, 1985). Em se tratando de leguminosas forrageiras tropicais, pesquisas apontam uma fixação biológica de cerca de 2 a 183 kg/ha/ano de N, ficando a parte área responsável por 70 a 94 % do N contido, cuja FBN é responsável (THOMAS, 1995).

A FBN pode ser afetada pelas condições químicas e biológicas do solo, como por exemplo, a acidez, salinidade, deficiências ou excesso de minerais, estresse hídrico, variações na temperatura, a quantidade de N inorgânico no solo, pragas e doenças (BARCELLOS *et al.*, 2008). Os autores evidenciam que “Quanto mais pobre em N for o solo, maior será a proporção do N da planta derivado da fixação biológica (% NDFB), que se situará acima de 85 %” e, por outro lado, o tipo da espécie e as condições em que se encontra o ambiente vão influenciar na quantidade de N fixado.

Conforme a Embrapa Gado de Corte (2002), a formação de nódulos com bactérias nativas do solo é o papel de muitas leguminosas tropicais, mas algumas dessas necessitam de intervenção, por meio da introdução de microorganismos através de inoculantes. Há casos onde acontece, com frequência, de as bactérias nativas serem pouco eficientes na fixação de nitrogênio, mesmo quando estas infectam a leguminosa e formam nódulos.

Segundo Boddey *et al.* (1997), o uso de adubos verdes tornou-se relevante na viabilidade econômica e sustentabilidade dos sistemas de produção, pois, a maioria são capazes de realizar a fixação biológica de nitrogênio (FBN) de forma eficiente ao ponto de reduzir a necessidade de aplicação de nitrogênio sintético nas culturas, já que, o nitrogênio (N) é um nutriente limitante para o desenvolvimento das plantas nos trópicos.

Perin *et al.* (2003) concorda com tais características mostrando que na adubação verde, as espécies que mais se destacam são as da família das leguminosas, pois ao formarem associações simbióticas com bactérias fixadoras de N_2 , proporcionam quantidades expressivas de nutrientes ao sistema solo-planta. Assim,

desempenham papel fundamental na nutrição das próximas culturas. Autores com a mesma linha de pensamento como Rosolem *et al.* (2003) evidenciam que as leguminosas (família das fabaceae), são plantas específicas de cobertura do solo e são assim utilizadas como “adubos verdes” por conta de tais características que as identificam “incorporação de nitrogênio fixado pelas bactérias fixadoras, associadas às raízes, e à rápida decomposição de sua palha, provocada pela relação C/N inferior a 20, sendo importante na ciclagem de nutrientes”.

Döbereiner (1990) afirma que entre as associações de plantas superiores com bactérias fixadoras de N₂, as leguminosas são até, hoje, consideradas as pioneiras no mecanismo simbiótico, pois são dotadas de alta sofisticação e eficiência; sendo neste quesito, estimadas as mais competentes famílias entre as espécies. A autora evidencia outro papel importante entre as leguminosas, principalmente as de grão e forrageiras, que é a sua contribuição na agricultura tropical.

2.1.2 As raízes das leguminosas

A correlação entre solo e planta propicia estudos, os quais, tem abordado o desenvolvimento do sistema radicular das plantas forrageiras (CUNHA *et al.*, 2010). Apesar de raros esses estudos com forrageiras, pelo motivo de serem estudos que carecem de metodologias de alto custo. Os autores evidenciam a importância da planta possuir um sistema radicular forte, para que estas, sejam capazes de suportar situações extremas relacionadas ao clima como invernos rigorosos, verões secos, pastejos, entre outros.

Outro motivo evidenciado por Giacomini *et al.* (2005) é o fato de que tanto a produtividade, quanto a qualidade das partes aéreas das plantas estão intrinsecamente ligadas ao processo de desenvolvimento e de comportamento das raízes.

O sistema radicular das plantas, inclusive os das pastagens, é relevante em relação à densidade de solo, principalmente quando se trata de um solo castigado por vários fatores como pisoteio animal e remoção da parte aérea, quando ocorridos de maneira frequente e intensa, podendo levar a consequências negativas para a planta, como por exemplo, a redução nas raízes e consequentemente uma queda na produção dessas plantas (SCHEFFER-BASSO *et al.*, 2002; CECATO *et al.*, 2001).

Estudos mostram que o N é muito importante para o sistema radicular da planta, pois, quando esta é bem suprida deste elemento, o seu sistema radicular se mostra maior e mais desenvolvido, quando comparado ao sistema de uma planta com deficiência em N. O motivo, segundo Brower (1962), é o acúmulo de carboidratos no crescimento do sistema radicular, os quais, fazem parte do mecanismo que envolve todo o processo.

O sistema radicular das plantas tem o seu crescimento afetado quando o solo se encontra em estado de compactação, pois este, sofre com os efeitos negativos como aumento da resistência mecânica ao crescimento radicular, redução da aeração e da disponibilidade de água e nutrientes (GOEDERT *et al.*, 2002), arranjo estrutural, porosidade total, difusão de gases, infiltração e armazenamento de água (TAYLOR e BRAR, 1991) e, conforme os autores, todos esses fatores levam à queda na produtividade agrícola.

A alta resistência mecânica à penetração de raízes acontece geralmente em solos de áreas agrícolas que sofrem com o constante uso de máquinas e, também, em solos onde ocorre intenso pisoteio de animais (CAMARGO e ALLEONI, 1997). Conforme Cecato *et al.* (2001), as condições físicas do solo como nutrientes e umidade afetam de forma direta o sistema radicular de plantas forrageiras. Por outro lado, o manejo por corte ou pastejo dessas plantas já interferem indiretamente no desenvolvimento do sistema radicular. Como exemplo, o autor cita dois fatos ocorridos com bastante frequência: a redução no percentual de macroporos e o aumento da densidade do solo, quando este é submetido ao pisoteio animal.

A qualidade física do solo pode ser melhorada, por meio das raízes de leguminosas, que, ao penetrar, utiliza de seu sistema radicular para provocar arranjos no solo, principalmente, quando penetra camadas com alta resistência mecânica; na decomposição, é capaz de formar canais chamados de “bioporos”. Estes canais promovem a infiltração de água e a difusão de gases, fato que contribui muito para a qualidade física do solo e, conseqüentemente, melhora a produção e a qualidade das próximas culturas (DEXTER, 1991; BENNIE, 1996).

De acordo com Roth *et al.* (1992), a melhoria na estabilização dos agregados do solo depende muito do crescimento radicular das leguminosas, a qual, pode incrementar a matéria orgânica ao longo do perfil do solo promovendo a estabilização dos agregados e reduzindo a susceptibilidade do solo à compactação.

Plantas que apresentam raízes com potencial de penetrar camadas com-

pactadas de solo, principalmente os de alta impedância mecânica, são denominadas plantas descompactadoras (CAMARGO; ALLEONI, 1997) e são denominadas adubos verdes ou plantas de coberturas, estudadas para este propósito.

O sistema radicular dessas plantas, incluindo as leguminosas, podem sofrer mudanças morfológicas e fisiológicas ao ponto de causar modificações nas raízes, engrossando-as, como uma consequência da compactação do solo que promove essa modificação sobre as mesmas (MATERECHERA *et al.*, 1992). O autor relata que esse fato é específico a cada espécie ou cultivar, com o propósito de buscar a adaptação pertinente às mesmas. Ainda sobre as consequências da compactação do solo, sobre as raízes; Russell e Goss (1974) relatam que quanto maior o grau de compactação, e, conseqüentemente a resistência mecânica do solo, a penetração, pode, por outro lado, ocorrer um estímulo fazendo surgir raízes laterais mais finas, mas que são capazes de crescer em solos compactados que possuem os poros com diâmetro reduzido.

Um estudo feito por Foloni *et al.* (2006) concordam com esse fato mostrando o comportamento nas raízes de *Crotalaria juncea* que teve seu crescimento dentro da camada de solo compactado, justamente por esta espécie ter apresentado redução do seu diâmetro médio radicular decorrente do aumento da impedância mecânica, pelo fato de raízes mais finas possuírem a tendência em crescer mais na camada compactada.

De acordo com Salton *et al.* (2001), o sistema radicular de plantas como as leguminosas “possui características que permite a planta explorar maior volume do solo, reciclar maior quantidade de nutrientes, aumentar a atividade biológica do solo, favorecer a elevação do teor de matéria orgânica e reduzir a erosão”. Estudos com o sistema radicular dessas plantas atribuem a elas características peculiares como sistema radicular pivotante profundo capaz de lhe conferir maior resistência à seca, pois tem potencial para captar água em camadas mais profundas no solo. Outra característica considerada marcante é uma melhor distribuição da produção de forragem durante o ano, o que favorece a atividade pecuária (FABRICE, 2012).

Portanto, procura-se cada vez mais estudar o sistema radicular das leguminosas pela atual demanda na avaliação dos efeitos do uso do solo relacionado com o sistema solo-planta (PAGOTTO, 2001), pois conforme o autor “as raízes são o elo entre a parte aérea da planta e o solo”.

2.2 Estilosantes Campo Grande (*Stylosanthes capitata* e *Stylosanthes macrocephala*)

O gênero *Stylosanthes* é pertencente à família Fabaceae, com 40 espécies e uma enorme quantidade de subespécies portadora de inúmeras descrições de variedades botânicas. Sua origem é América Central e América do Sul e, também, cultivado na América Subtropical e na Austrália devido ao seu potencial econômico (FERREIRA e COSTA, 1979; STACE e EDYE, 1984). A planta é reconhecida por ter boa fonte de proteína e grande potencial forrageiro, pela boa fixação biológica de nitrogênio, e ainda, por adaptar-se bem aos solos pobres dos cerrados brasileiros (EMBRAPA GADO DE CORTE, 2007). Segundo Garcia *et al.* (2008), o potencial da cultivar “Estilosantes Campo Grande” está voltado para as áreas de agronomia e zootecnia na utilização em consórcio com gramíneas ou em cultivo solteiro (GARCIA *et al.*, 2008)

As espécies pertencentes a este gênero são perenes, com sistema radicular bem desenvolvido, com tolerância à seca, sendo eficaz no papel de colonizadora e com potencial de adaptação a solos de baixa fertilidade. Outra característica determinante da espécie é seu poder de simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio (ANDRADE; KARIA, 2000).

Possui como característica morfológica porte prostrado a ereto, com até 1,5 m, folhas trifolioladas, flores pequenas; apresenta diploidia na maioria das espécies com $2n = 20$ cromossomos e uma pequena parte são alotetraploides, como por exemplo *S. scabra* e *S. hamata* (Ferreira e Costa, 1979; Stace e Edye, 1984). A reprodução acontece principalmente através de um sistema de autofecundação e polinização cruzada entre 2% a 6%, quando ocorrido em condições naturais (STACE, 1984; MILES, 1985).

Segundo Stace e Edye (1984), as espécies do gênero *Stylosanthes* produzem grande quantidade de massa verde com alto valor nutricional e, por isso, são visadas para atender pastagens de vários países, ao contrário do Brasil, que possui baixa rotatividade para esse fim. Devido a realidade do Brasil estar na carência de variedades, implica uma baixa produção de sementes e baixo consumo no campo dessas sementes que conseqüentemente prejudicam o preço de mercado interferindo nos sistemas de produção e assim prejudicando o equilíbrio dos mesmos (AN-

DRADE; KARIA, 2000). Conforme a EMBRAPA (2005), essas limitações serão resolvidas, por meio da utilização dos bancos de germoplasma que disponibiliza uma variabilidade para o melhoramento genético.

2.2.1 Histórico

O Estilosantes Campo Grande surgiu em 1990, na Fazenda Maracujá, no Município de Campo Grande, em uma propriedade cujo solo era de característica arenosa. É uma mistura de duas espécies de leguminosas, *Stylosanthes capitata* e *S. macrocephala* remanescentes de um experimento anterior com essas duas espécies, sendo constatado que essas plantas permaneceram por muito tempo em solo composto por 87% de areia e baixa fertilidade natural e, no entanto, tinham sobrevivido a essas situações extremas. Percebeu-se que, além disso, essas plantas possuíam alto grau de resistência à antracnose, uma doença considerada relevante, e que é causada pelo fungo *Colletotrichum gloeosporioides* (EMBRAPA GADO DE CORTE, 2007).

Dessa forma, foram realizados estudos agronômicos detalhados com as sementes das duas espécies pela Embrapa Gado de Corte em relação à produtividade de forragem, à produtividade de sementes e à resistência à antracnose. Todo esse processo realizado pela Embrapa resultou em diversos multicruzamentos para a geração de híbridos agronomicamente viáveis.

Conforme a EMBRAPA (2007), após ter sua seleção definida, obteve-se duas populações: uma de *S. capitata* e outra de *S. macrocephala*, compostas de uma mistura física de sementes de linhas melhoradas proporcionais de 80% para a primeira e 20% para a segunda espécie. Diante disso, a Embrapa obteve uma composição que a denominou estilosantes-campo-grande e consequentemente a registrou como cultivar no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

A partir de 2003, essa cultivar apresentou bons resultados na Região dos Cerrados, pelo fato das espécies de *Stylosanthes* que compõem a cultivar Campo Grande serem nativas de regiões de Cerrado, com predominância de solos arenosos e bem drenados (FERNANDES *et al.*, 2005; COOK *et al.*, 2005).

2.2.2 Características morfológicas da cultivar

De acordo com a Embrapa Gado de Corte (2007), essas duas espécies componentes do estilosantes-campo-grande apresentam variabilidade genética em relação às características agronômicas, e, em particular, por apresentar resistência à antracnose, como mencionado anteriormente, pois dessa forma são capazes de interferir na pressão de seleção do patógeno, amenizando-a e automaticamente diminuindo o risco de quebra em relação à dureza da cultivar para a antracnose.

Segundo Karia *et al.* (2002), estudos sobre a caracterização morfológica das duas espécies *S. macrocephala* e *S. capitata* conduzidos em Planaltina, DF, revelaram que a primeira espécie apresenta uma maior aceleração no seu crescimento inicial em relação à altura e ao diâmetro da planta, quando comparados com os da segunda espécie (o que pode ser verificado na tabela 2). O estudo mostra, também, dados sobre os folíolos das duas espécies, evidenciado que os de *S. macrocephala* são mais compridos e estreitos, já os de *S. capitata* são mais curtos e largos (figura 1). Outra diferença entre as duas espécies ficou para o número de ramos, nos quais, em *S. capitata* tendem a ser em maior número, quando comparados aos de *S. macrocephala*, em um período de 7 meses e, conforme a pesquisa, depois de ser transplantado para o campo.

A diferença entre as duas espécies *S. macrocephala* e *S. capitata* são principalmente as seguintes características: estípulas, brácteas, comprimento de inflorescências (1-2 cm e 6-7 cm, respectivamente), entre outras capazes de diferenciá-las. Outro detalhe marcante: quando as duas espécies simpátricas nunca formam híbridos interespecíficos (COSTA; FERREIRA, 1984).

2.2.3 Descrição da espécie *S. capitata*

Segundo Costa e Ferreira (1984), a espécie *S. capitata* é subarbustivo, prostrado ou ereto, a 1 m de diâmetro ou altura, múltiplas ramificações, geralmente possuem base lenhosa, apresentando pilosidade variável, algumas vezes, com cerdas. Folhetos elíptico-oblongo, geralmente oboval, bastante variável podendo chegar a 30-40mm de comprimento, 12-15mm de largura, ápice agudo ou mucronado, com pilosidade variável em ambas as faces; 8-12 pares de veias visíveis; pecíolo 2-6 mm

de comprimento, densamente piloso. Essa espécie, segundo os autores, é dotada de inflorescências oblongo-ovaladas, mais longo que largo, às vezes chegando a 6-7 cm de comprimento e Brácteas oblongo, 9-13 mm de comprimento, incluindo dentes, 3-5 pares de veias pilosidade variável, cerdas algumas vezes presentes e a presença de flores amarelo brilhante. Também, possui semente de cor variável, quase preto ao amarelo; às vezes, manchado, 2 mm de comprimento.

Outra descrição para *S. capitata* provém da Embrapa Gado de Corte (2007) que a descreve como tendo hábito de crescimento ereto, podendo alcançar até 1,5 m de altura, com flores de coloração que variam da cor bege ao amarelo.

De acordo com dados da Embrapa (2007), essa espécie tem seu florescimento, a partir da segunda quinzena de maio e a maturação das sementes acontece no final de junho, isso para o local de sua origem; isto é, em Campo Grande, MS.

Conforme Costa e Ferreira (1984), três tipos de *S. capitata* ocorrem no Brasil, e um grupo delas em Minas Gerais e no Distrito Federal, que apresentam plantas com características em comuns: prostradas, com caules grossos e folhas grandes, ambas suscetíveis à antracnose.

Existe um outro grupo, segundo os autores, em Mato Grosso do Sul, Goiás e Bahia, com plantas de características ereto ou prostrado, com hastes mais finas e mais ramificadas e que apresenta variação em sua pilosidade. Nesse grupo, existem alguns genótipos que apresentam maior resistência à antracnose. Há um terceiro grupo com registro no norte do Brasil para a Venezuela, com plantas que predominam as seguintes características: prostrado, com folhas e inflorescências menores do que os outros grupos, e são muito pilosos (COSTA; FERREIRA, 1984).

2.2.4 Descrições da espécie *S. macrocephala*

Costa e Ferreira (1984) descreve esta espécie como perene prostrado dotada de longos ramos bastante ramificados, peludo-erizado. Folhetos lanceolados, púberes ou glabro, 20-50 mm de comprimento, 10-19 mm de largura, 9-10 pares de veias. As inflorescências são densas, ovoide, com brácteas imbricadas, grande, elíptico-Ovoide, púberes, 11-15 veias, avermelhado, com dentes curtos e rudimento foliar. Flores exercida, estriado padrão e semente pequena, suave, amarela ou salpica-

da.

Para esta espécie a Embrapa (2007) a descreve como de hábito de crescimento semiereto ou decumbente; tornando-se, às vezes, mais ereto quando necessário uma competição por luz. A altura das plantas desta espécie se equipara a mesma altura de *S. capitata*, ou seja, 1,5 m. Em relação ao seu florescimento e maturação das sementes, a Embrapa evidencia sua precocidade, pois ocorre em torno de um mês mais cedo do que às de *S. capitata*. As cores de suas flores geralmente são amarelas, e, raramente podem ser encontrados exemplares nas cores bege.

De acordo com Costa e Ferreira (1984), a espécie *S. macrocephala* ocorre em Minas Gerais, Bahia, no Norte do Espírito Santo, Goiás e Mato Grosso do Sul. Conforme os autores, algumas espécies mostram tolerância para antracnose, porém, existem evidências de ataque de *Stegasta* sp. que costumam atacar as inflorescências. Os autores evidenciam que essa espécie apresenta uma farta produção de sementes e conta com um sistema de coleta na época de maturação das inflorescências. Essas sementes são sempre protegidas pelas brácteas que possuem esse papel cumprindo-o até a próxima etapa, ou seja, a volta da estação chuvosa.

2.3 Feijão Guandu (*Cajanus cajan*)

O feijão-guandu (*Cajanus cajan*) pertencente à família Fabaceae é caracterizado como adubo verde dotado de atributos próprios capazes de descompactar as camadas mais adensadas do solo (NEVES, 2007), problema geralmente detectado em solos de Cerrado.

Estudos tem comprovado que o Guandu (*Cajanus cajan*), mostra grande potencial de descompactar solos (inclusive solos de Cerrado) e, por esse motivo vem se destacando nesta posição, nos últimos 20 anos, entre as várias espécies de adubos verdes, principalmente, no seu uso em recuperação de áreas degradadas (ARAÚJO FILHO *et al.*, 2010). Tanto na alimentação humana quanto na alimentação animal tem-se buscado utilizar essa espécie como forma de suprir essas necessidades (PUPO, 1979).

A associação simbiótica com bactérias do gênero *Rhizobium* do feijão Guandu é formada nos nódulos que se localizam nas raízes, onde acontece uma relação de troca. Por um lado a planta fornece energia para a bactéria e por outro

recebe amônia que o *Rhizobium* produz a partir da fixação do N atmosférico. Esta amônia produzida pelo *Rhizobium* é transportada dos nódulos para toda a planta, onde é mais concentrada nas folhas, tecidos jovens e sementes, participando dessa forma na formação de aminoácidos e proteínas (EMBRAPA GADO DE CORTE, 2002).

2.3.1 Origem

O feijão guandu origina-se em todo o Brasil Central, encontrada quase sempre nos quintais das casas em cidades desta região (EMBRAPA GADO DE CORTE, 2002). Esta planta da família leguminosae teve sua introdução no Brasil e Guianas, por meio dos escravos que vieram da África e logo espalhou-se na Região tropical, naturalizando-se. A partir, essa planta ganhou relevância em diversas áreas; por exemplo, na alimentação humana, forragem e adubação verde (DÖBEREINER; CAMPELO, 1977).

Esta espécie encontra-se em posição de destaque entre as culturas de leguminosas por possuir características capazes de proporcionar altas colheitas de sementes, sendo estas, ricas em proteína, mantendo essa produção mesmo em solos de baixa fertilidade. O guandu possui boa adaptação ao clima quente e seco (SKERMAN, 1977).

2.3.2 Descrição e características morfológicas

Conforme a variedade da espécie, o feijão guandu é uma planta anual ou perene de vida curta, apresentando caule lenhoso e uma raiz principal pivotante que pode penetrar um ou mais metros no solo. Numerosas raízes finas secundárias, até 30 cm da superfície, apresentam nódulos que contêm bactérias do gênero *Rhizobium*, que fixam simbioticamente nitrogênio atmosférico e que é cedido à planta para a formação de seus aminoácidos e proteínas (EMBRAPA GADO DE CORTE, 2002).

As folhas do Guandu são trifolioladas, com folíolos lanceolados ou elípticos, com 4 a 10 cm de comprimento e 3 cm de largura. As flores apresentam-se em ráculos terminais com 1,5 a 1,8 cm de comprimento, de cor amarela ou amarelo-

alaranjado, podendo apresentar estandartes salpicados ou mesmo totalmente púrpura ou avermelhados. As vagens são indeiscentes, de cor verde-marrom ou púrpuras, ou mesmo verde salpicadas de marrom, de forma oblonga, com 8 cm de comprimento e 1,4 cm de largura. As sementes, entre duas e nove por vagem, são de formato aproximadamente redondo, com 4 a 8 mm de diâmetro, de cor verde ou púrpura quando imaturas e; quando maduras, apresentam cor que vai de branco, amarelo, castanho, a preto. Apresentam ainda, cores claras salpicadas de marrom ou púrpura. As sementes são bastante duras quando secas e o número de sementes por kg varia de 1.150 a 3.630 unidades (EMBRAPA GADO DE CORTE, 2002).

Pesquisas apontam um grande número de variedades de guandu e, por este motivo, as plantas apresentam grande variação de porte, hábito de crescimento, características de sementes e respostas a fotoperíodo. A maioria das variedades floresce, quando os dias apresentam onze a doze horas de comprimento. Algumas são insensíveis ao comprimento do dia e florescem em qualquer época do ano (EMBRAPA CERRADOS, 2002).

Conforme a Embrapa Gado de Corte (2002), o feijão guandu (*Cajanus cajan*) é dotado de múltiplos usos e, portanto, vai além dos interesses forrageiros, podendo esta leguminosa ser utilizada como fornecedora de grãos para consumo humano, como planta forrageira (suplemento de proteína para ruminantes), como fornecedora de grãos ou farinha para aves e suínos e, também, como cultura melhoradora do solo.

2.3.3 Clima e Solo

A temperatura apropriada para um bom desenvolvimento e completo ciclo do feijão guandu é entre 20 e 40°C. Temperaturas muito baixas podem afetar a planta e causar desfolha como a -3,3°C e a -4,4°C pode causar a morte por completo da planta (BARCELOS *et al.*, 2008). Conforme Skerman (1977), o guandu é uma espécie cujo cultivo abrange desde a região tropical até a região sub-tropical, em condições de precipitação anual indo de 500 mm até 1.500 mm. Em relação ao tipo de solo preferido pela planta, o autor evidencia sua opção por solos bem drenados e profundos, deixando claro que esta espécie também é capaz de vegetar em solos argilosos pesados. Entretanto para formar um maior número de nódulos e proporci-

onar uma maior fixação de nitrogênio e por um tempo maior (por meio da ativação do *Rhizobium*), a espécie prefere os solos vermelhos (bem drenados), como na primeira opção citada pelo autor.

Quanto ao Ph do solo para o crescimento do guandu, Skerman (1977) mostra sua preferência (melhor desempenho) em solos aproximadamente neutros, embora a planta cresça em solos com pH de 5 a 8. Em uma pesquisa realizada pelo autor mostrou que em solos ácidos conseguiu-se colheitas de forragem razoáveis (2 a 4 t MS/ha), no entanto, ao corrigir essa acidez e também a adubação, a produção aumentou para até 14 t MS/ha ano.

2.4 Braquiárias

O gênero *Brachiaria* inclui aproximadamente 90 espécies com distribuição notoriamente tropical, tendo como origem primária a África Equatorial. Desde 1950 é conhecida no Brasil como espécie forrageira (GHISI, 1991; ALCANTARA, 1986). Foi introduzida no Brasil oficialmente em 1952 com a espécie *Brachiaria decumbens* e somente a partir de 1965 quando foram importadas outras espécies como a *Brachiaria ruziziensis* e a *Brachiaria brizantha* é que o gênero *Brachiaria* teve seu reconhecimento no país, com ênfase na região Amazônia, e; tendo o seu destaque também nas regiões Centro-Oeste e Sudeste do país (EMBRAPA, 2002).

A partir de 1970, houve um acréscimo no Brasil das áreas de pastagens cultivadas com espécies do gênero *Brachiaria*, em especial, das seguintes espécies: *B. decumbens*, Stapf., *B. humidicula* (Rendle) Schweickt, *B. Brizantha*, Stapf., e *B. ruziziensis*, Germain Evrard (EMBRAPA, 2002). Essas espécies tiveram boa adaptação ao clima tropical do país, o que justifica o seu progresso na área, conforme mostram as pesquisas.

Segundo a Embrapa Pantanal (2002), as gramíneas pertencentes a esse gênero são bastante utilizadas na América tropical, sendo este capim, o mais plantado no Brasil, atendendo dessa forma, grande quantidade de pastagens, principalmente as fases de cria, recria e engorda dos animais.

Conforme mostram as pesquisas, essa gramínea tem bom desenvolvimento em solos bem drenados, devendo-se, portanto, evitar o plantio em solos encharcados. Ao contrário, é bastante tolerante à seca sendo, portanto, bem adaptada

a solos ácidos e de baixa fertilidade, com boa tolerância a níveis altos de alumínio e a níveis baixos de P e Ca no solo (EMBRAPA CERRADOS, 2001; RAO *et al.*, 1996).

O fato das espécies do gênero *Brachiaria* terem se adaptado às condições de solo e clima fez com que ocupassem grande espaço em todo território brasileiro, com expansão e crescimento cada vez maior com o passar do tempo, deixando em evidência o seu brilhante papel nas produções de forragens em solos com baixa e média fertilidade (EMBRAPA, 2002). Ghisi (1991) evidencia esse fato mostrando que essas espécies, geralmente, produzem grande quantidade de matéria seca, quando bem manejados, e também proporcionam cobertura bastante eficaz do solo.

Em boa parte do território nacional, a degradação das pastagens naturais tem avançado a cada dia: as pastagens de capim gordura degradados em quase todo país. Esse fato tem levado os produtores a buscarem alternativas viáveis de forrageiras para a formação de pastagens; entre elas: as espécies do gênero *Brachiaria* tem sido as mais cobiçadas para atender a demanda (EMBRAPA GADO DE LEITE, 1998).

Conforme Macedo (1995), principalmente no Brasil Central e na Amazônia, formam-se imensos hectares de monocultivos, pois, aproximadamente 40 milhões desses são de pastagens constituídas por espécies do gênero *Brachiaria*; já a Embrapa Gado de Leite (1998) evidencia 60 milhões de hectares formados por espécies desse gênero. Só de áreas com pastagens formadas por *Brachiaris* no Brasil é estimado cerca de 70 milhões de hectares, desses, 40 milhões de hectares encontra-se no ecossistema cerrados (MACEDO, 1995). Esse fato tem como consequência o desmatamento em várias regiões do país, para introdução de pastagem cultivada, especialmente na região do Cerrado.

No Brasil, para a formação de pastagens, são utilizadas com maior frequência as seguintes espécies do gênero *Brachiaria*, em ordem decrescente: *B. decumbens*, *B. Brizanha*, *B. Humidicola*, *B. ruziziensis*, *B. dictyoneura*, *B. mutica*, e *B. arrecta* (EMBRAPA, 2002).

Conforme pesquisas da Embrapa Gado de Leite (1998), as espécies do gênero *Brachiaria* são dotadas de características marcantes que contribuíram para sua rápida disseminação: sementes de boa qualidade com facilidade na aquisição, boa tolerância a solos de baixa fertilidade, rápido estabelecimento e alta competição com plantas invasoras, alto vigor de rebrota, com boa persistência sob condições

extremas de desfolhação, excelente cobertura vegetal do solo e boa eficiência na sua proteção contra a erosão, motivo pelo qual, são forrageiras recomendadas na formação de pastagens, inclusive em áreas montanhosas (EMBRAPA, 2002). As pesquisas mostraram que tais qualidades dessas espécies ajudam a diminuir os riscos ao meio ambiente por um lado, entretanto, por outro, elas podem ser prejudiciais se utilizadas em grande quantidade nas pastagens, pois são, em sua maioria, bastante susceptíveis ao ataque de cigarrinhas.

A Embrapa (2002) evidencia o lado positivo de tais características dessas espécies e mostra algumas particularidades inerentes a elas, como o enraizamento em nós ao entrar em contato com o solo, fato este que leva a uma boa cobertura vegetal, protegendo o solo contra a erosão. Esse fato leva as espécies do gênero *Brachiaria* serem as preferidas para formar pastagens em áreas declivosas, pois se tornaram viáveis para este fim. Entretanto, as pesquisas da Embrapa (2002) enfatizam a importância de diversificar as pastagens de *Brachiaria* na mesma propriedade e sugere utilizar apenas parte delas em uma mesma propriedade com espécies forrageiras desse gênero. Essa precaução, segundo as pesquisas, tem o propósito de amenizar os riscos na alimentação dos animais a pasto, já que as brachiarias, como dito antes, são geralmente mais susceptíveis ao ataque de cigarrinhas das pastagens (*Deois flavopicta*, Stal.).

2.4.1 *Brachiaria decumbens*, STAPF

Cerca de 70 milhões de hectares de pastagens no Brasil são formadas por espécies do gênero *Brachiaria*, tendo como estimativa de pastagens cultivadas em geral cerca de 100 milhões de hectares. Dos 70 milhões, em torno de 50% são constituídas pela espécie *B. decumbens*, constituindo assim, cerca de 50% das pastagens de *Brachiaria*, o que constata ser essa espécie, a mais difundida no país atualmente (EMBRAPA, 2002).

Possui características marcante como sendo uma espécie perene capaz de emitir grande quantidade de estolões, os quais têm facilidade de penetrar o solo para protegê-lo da erosão; no entanto, por outro lado pode comprometer a prática da consorciação com leguminosas (EMBRAPA CERRADOS, 2001).

Em um estudo sobre 25 espécies de gramíneas forrageiras, Botrel et al.

(1987) verificaram que a *B. decumbens* apresentou melhor cobertura vegetal do solo, e, em outro estudo de Carvalho *et al.* (1997) mostraram que essa gramínea tem tolerância ao sombreamento e, também, é mais tolerante à seca quando comparada com as outras espécies do gênero.

De acordo com a Embrapa Gado de Leite (1998), no Brasil existem no mínimo duas cultivares dessa espécie que estão sendo utilizadas nas pastagens, que são: a cultivar IPEAN e a cultivar Basilisk, também conhecida como Australiana. A primeira foi introduzida em 1965, em Belém, Pará. A cultivar IPEAN possui as seguintes características: menos vigorosa, baixa produção de sementes, grande número de estolões, boa cobertura vegetal ao solo. A cultivar Basilisk ou Australiana possui as seguintes características: mais vigorosa, floresce durante quase toda estação de crescimento, excelente produção de sementes, apresenta um período de dormência após a colheita (cerca de 12 meses), alta agressividade na competição com plantas invasoras.

2.4.2 *Brachiaria decumbens* c.v. Basilisk

Em relação as suas características, as espécies *B. decumbens* apresentam ainda: Alta produtividade de sementes que ficam armazenadas no solo por bastante tempo e grande facilidade de disseminação dessas sementes. No entanto, essas duas últimas características têm dificultado a implantação tanto de culturas anuais quanto de outras espécies forrageiras, pelo fato dessas espécies serem difíceis de erradicar durante o preparo do solo (EMBRAPA CERRADOS, 2001).

A Embrapa Gado de Leite (1998) cita outras desvantagens para forrageiras dessa espécie: sua grande susceptibilidade ao ataque das cigarrinhas-das-pastagens, sua baixa tolerância à geada, e de ser em alguns casos, hospedeira do fungo *Pithomyces chartarum*, podendo com isso acarretar problemas na alimentação do rebanho como fotossensibilização (BOTREL *et al.*, 1987). Por outro lado, a Embrapa Cerrados (2001) mostra que a *B. decumbens* é vantajosa para a cobertura do solo, principalmente quando comparada ao capim-gordura, tendo como consequência grande volume de matéria seca, maior capacidade de suporte e alto ganho de peso vivo por animal e por hectare.

Sendo assim, devido a tais características negativas, muitas pastagens de

B. decumbens hoje tem sido substituída por outras espécies de forrageira do gênero, um exemplo é a *B. brizantha* cv Marandu, a qual, é mais resistente ao ataque dos insetos transmissores da cigarrinha-das-pastagens (EMBRAPA, 2002).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCANTARA, P. B. Origem das braquiárias e suas características morfológicas de interesse forrageiro. In: ENCONTRO SOBRE CAPINS DO GÊNERO BRACHIARIA, 1986, Nova Odessa. **Anais...** Nova Odessa: Instituto de Zootecnia, 1987. 18p.

ANDRADE, R. P.; KARIA, C. T. 2000. O uso de *Stylosanthes* em pastagens no Brasil. In: EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (Ed.). **Variabilidade genética e ecológica de *Stylosanthes macrocephala* determinadas por RAPD e SIG**, Brasília, v. 9, p. 899-909, 2005.

ARAÚJO FILHO, J. V.; INOMOTO, M. M.; GODOY, R.; FERRAZ, L. C. C. B. Reação de linhagens de feijão-guandu a *Rotylenchulus reniformes* e *Pratylenchus zeae*. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 34, n. 4, 2010.

BARCELLOS, A. O.; RAMOS, A. K. B.; VILELA, L.; MARTHA JUNIOR, G. B. Sustentabilidade da produção animal baseada em pastagens consorciadas e no emprego de leguminosas exclusivas, na forma de banco de proteína, nos trópicos brasileiros. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 37, n. spe, p. 51-67, 2008.

BENNIE, A. T. P. Growth and mechanical impedance. In: WAISEL, Y.; ESHEL, A. & KAFKAFI, U. (Ed.) **Plant roots**. 2.ed. New York: M. Dekker, 1996. p. 453-470.

BODDEY, R. M.; SÁ, J. C. D. M.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S. The contribution of biological nitrogen fixation for sustainable agricultural systems in the tropics. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 29, n. 5-6, p. 787-799, 1997.

BOTREL, M. A.; ALVIM, M. J.; MOZZER, O. I. Avaliação agronômica de gramíneas forrageiras sob pastejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 9-10, p. 1019-1025, 1987.

BROWER, R. Nutritive influences on the distribution of dry matter in the plant. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 5, p. 342-399, 1962.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1997.

CARVALHO, M. M.; SILVA, J. L. O.; CAMPOS JUNIOR, B. A. Produção de matéria seca e composição mineral da forragem de seis gramíneas tropicais estabelecidas em sub-bosque de angico-vermelho. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Brasília, v. 26, n. 2, p. 213-218, 1997.

CECATO, U.; CANO, C. C. P.; BORTOLO, M.; HERLING, V. R.; CANTO, M. W.; CASTRO, C. R. C. Teores de carboidratos não-estruturais, nitrogênio total e peso de raízes em Coastacross-1 (*Cynodon dactylon* (L.) Pers) pastejado por ovinos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Brasília, v. 30, n. 3, p. 644-650, 2001.

COOK, B. G.; PENGELLY, B. C.; BROWN, S. D.; DONNELLY, J. L.; EAGLES, D. A.; FRANCO, M. A.; HANSON, J.; MULLEN, B. F.; PARTRIDGE, I. J.; PETERS, M.;

SCHULTZE-KRAFT, R. **Tropical forages**: an interactive selection tool. Brisbane: CSIRO, DPI&F (Qld), CIAT, ILRI, 2005. 1 CD-ROM.

COSTA, N. M. S.; FERREIRA, M. S. Some brazilian species of *Stylosanthes*. In: STACE, H. M; EDYE, L. A. (Eds.). **The bioloty and agronomy of Stylosanthes**. Austrália, 1984, p. 23-48.

CUNHA, F. F.; RAMOS, M. M.; ALENCAR, C. A. B.; MARTINS, C. E. CÓSER, A. C.; OLIVEIRA, R. A. Sistema radicular de seis gramíneas irrigadas em diferentes adubações nitrogenadas e manejos. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 2, p. 351-357, 2010.

DEXTER, A. R. Amelioration of soil by natural processes. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 20, n. 1, p. 87-100, 1991.

DÖBEREINER J. Avanços recentes na pesquisa em fixação biológica de nitrogênio no Brasil. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 4, n. 8, 1990.

DÖBEREINER, J.; CAMPELO, A. B. Importance of legumes and their contribution of tropical agriculture. In: HARDY, R. W. F.; GIBSON, A. (Ed.) **A treatise on dinitrogen fixation**; aonomy and ecology. Wiley, 1977. v. 4, p.191-220.

EMBRAPA. **As principais espécies de Brachiaria utilizadas no país**. Juiz de Fora, MG: Embrapa Gado de Leite, 2002. 4 p. (Comunicado Técnico 22).

EMBRAPA. **Cultivo e uso do Estilosantes-campo-grande**. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2007. 11 p. (Comunicado Técnico 105).

EMBRAPA. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. **Adubação verde: estratégia para uma agricultura sustentável**. Seropédica: EMBRAPA, 1997. 20 p.

EMBRAPA. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. **Boas Práticas na Manutenção de Germoplasma e Variedades Crioulas de Milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2005. 8 p. (Comunicado Técnico 113).

EMBRAPA. Ministério da Agricultura e do Abastecimento **Tecnologias de produção de soja – Paraná 2005**. Londrina: Embrapa Soja, 2004. 218 p. (Embrapa Soja, Sistemas de Produção, n. 6).

EMBRAPA CERRADOS. **Adubação fosfatada para manutenção de pastagem de Brachiaria decumbens no Cerrado**. Brasília, DF: Embrapa Cerrados, 2001. 5 p. (Comunicado técnico 53).

EMBRAPA CERRADOS. **Pastagens no Cerrado: Baixa produtividades pelo uso limitado de fertilizantes**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2002. 30 p. (Documentos 50).

EMBRAPA GADO DE CORTE. **Boas práticas na produção de bovinos de corte**. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2002. 25 p. (Documentos 129).

EMBRAPA GADO DE CORTE. **Cultivo e uso do Estilosantes Campo Grande**. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2007. 11p. (Comunicado Técnico, 105).

EMBRAPA GADO DE LEITE. **Características forrageiras de algumas gramíneas tropicais**. Juiz de Fora, MG: Embrapa Gado de Leite, 1998. 36 p. (Documentos 66).

EMBRAPA PANTANAL. **Aspectos gerais das braquiárias e suas características na sub-região da Nhecolândia, Pantanal, MS**. Corumbá, MS: Embrapa Pantanal, 2002. 27 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 33).

FABRICE, C. E. S. **Recuperação de pastagem de *Brachiaria decumbens* degradada com a introdução de estilosantes campo grande**. 2012. 61 f. Tese (Mestrado em Ciência Animal – Medicina Veterinária Preventiva e Produção Animal) – Faculdade de Medicina Veterinária, Universidade Estadual Paulista, Araçatuba, 2012.

FERNANDES, C. D.; GROF, B.; CHAKRABORTY, S.; VERZIGNASSI, J. R. Estilosantes Campo Grande in Brazil: a tropical forage legume success story. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 20., 2005, Dublin. **Proceedings...** Dublin: Wageningen Academic, 2005. p. 330.

FERREIRA, M. B.; COSTA, N. M. S. 1979. O gênero *Stylosanthes* Sw. no Brasil. In: EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (Ed.), **Variabilidade genética e ecológica de *Stylosanthes macrocephala* determinadas por RAPD e SIG**, Brasília, v. 40, n. 9, p. 899-909, 2005.

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 Ciências do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 1, p. 49-57, 2006.

FRANCO, A. A.; RESENDE, A. S.; CAMPELLO, E. F. C. Importância das leguminosas arbóreas na recuperação de áreas degradadas e na sustentabilidade de sistemas agroflorestais. In: _____ **Sistemas Agroflorestais e Desenvolvimento Sustentável**, Mato Grosso do Sul, 2003. p. 1-24.

GARCIA, F. M.; BARBOSA, R. Z.; GIATTI JUNIOR, N. O.; FERRAZ, M. V. O uso de Estilosantes Campo Grande em consórcio com braquiárinha (*Brachiaria decumbens*). **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, Garça, v. 7, n. 13, 2008.

GHISI, O. M. A. A. *Brachiaria* na pecuária brasileira: importância e perspectivas. In: ENCONTRO PARA DISCUSSÃO SOBRE CAPINS DO GÊNERO BRACHIARIA, 2, 1991, Nova Odessa. **Anais...** Nova Odessa: Instituto de Zootecnia, 1991. 356p.

GIACOMINI, A. A.; MATTOS, W. T.; MATTOS, H. B.; WERNER, J. C.; CUNHA, E. A.; CARVALHO, D. D. Crescimento de raízes dos capins Aruana e Tanzânia submetidos a duas doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Brasília, v. 34, n. 4, p. 1109-1120, 2005.

GOEDERT, W. J.; SCHERMACK, M. J.; FREITAS, F. C. Estado de compactação do solo em áreas cultivadas no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Bra-**

sileira, Brasília, v. 37, n. 2, p. 223-227, 2002.

KARIA, C. T.; ANDRADE, R. P.; CHARCHAR, M. J. D.; GOMES, A. C. **Caracterização morfológica de acessos do gênero *Stylosanthes* no banco ativo de germoplasma da Embrapa Cerrados – Coleção 1994-1995**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2002. 24 p. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 72).

MACEDO, M. C. M. Pastagens no ecossistema cerrados: pesquisas para o desenvolvimento sustentável. In: SIMPÓSIO SOBRE PASTAGENS NOS ECOSSISTEMAS BRASILEIROS, 1995. Brasília. **Anais...** Brasília: Pesquisas para o desenvolvimento sustentável: SBZ, 1995. p.28-62.

MATERECHERA, S. A.; ALSTON, A. M.; KIRBY, J. M.; DEXTER, A. R. Influence of root diameter on the penetration of seminal roots into a compacted subsoil. **Plant Soil**, Crawley, v. 144, n. 2, p. 297-303, 1992.

MILAN, P. A.; RITTER, W.; DALL'AGNOL, M. Seleção de leguminosas forrageiras tolerantes a alumínio e eficientes na utilização de fósforo II. Leguminosas exóticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 12, p. 1739-1746, 1990.

MILAN, P. A.; RITTER, W.; DALL'AGNOL, M. Seleção de leguminosas forrageiras tolerantes a alumínio e eficientes na utilização de fósforo I. Leguminosas nativas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 26, n. 1, p. 119-124, 1991.

MILES, J. W. Evaluation of potential genetic marker traits and estimation of out crossing rate in *Stylosanthes guianensis*. **Australian Journal of Agricultural Research**, Victoria, v. 36, n. 2, p. 259-265, 1985.

NEVES, I. P. **Adubação Verde**. Salvador: Rede de Tecnologia da Bahia, 2007. 22 p.

PAGOTTO, D. S. **Comportamento do sistema radicular, reservar orgânicas e mineralização líquida do nitrogênio do solo em pastagem irrigada de capim-Tanzânia submetida a diferentes intensidades de pastejo**. 2001. 51 f. Tese (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

PEOPLES, M. B.; CRASWELL, E. T. Biological nitrogen fixation: investments, expectations and actual contributions to agriculture. **Plant and Soil**, v. 141, n. 1-2, p. 13-40, 1992.

PERIN, A.; GUERRA, J. G. M.; TEIXEIRA, M. G. Cobertura do solo e acumulação de nutrientes pelo amendoim forrageiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 7, p. 791-796, 2003.

POWERS, L. E.; R. McSORLEY. 2000. **Ecological Principles of Agriculture**. Albany: Delmar Thompson Learning, 2000. 433 p.

PUPO, N. H. I. **Manual de pastagens e forrageiras**. Campinas: Instituto Agrônomo de Ensino Agrícola, 1979. 343 p.

RAO, I. M.; KERRIDGE, P. C.; MACEDO, M. C. M. Nutrition requirements of Brachiaria and adaptation to acid soils. In: MILLES, J. W.; MAASS, B. L.; VALLE, C. B. do (Ed.). **Brachiaria: biology, agronomy, and improvement**. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical, Tropical Forages Program and Communications Unit; Campo Grande: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte, 1996. p. 53-71.

ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S. Lixiviação de potássio da palhada de espécies de cobertura de acordo com a quantidade de chuva aplicada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 355-362, 2003.

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 Ciências do Solo**, Viçosa, v. 15, p. 241-248, 1992.

RUSSELL, R. S.; GOSS, M. J. Physical aspects of soil fertility: the response of roots the mechanical impedance. **Journal of Agricultural Science**, Toronto, v. 22, p. 305-318, 1974.

SALTON, J. C.; FABRÍCIO, A. C.; HERNANI, L. C. Rotação lavoura pecuária no sistema de plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 208, p. 92-99, 2001.

SCHEFFER-BASSO, S. M.; SOARES, G. C.; DALL'AGNOL, M. Efeito de frequência e altura de corte em dois genótipos de *Bromus auleticus* trin, ex ness. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 8, n. 3, p. 191-194, 2002.

SKERMAN, P. J. **Tropical forage legumes**. FAO Plant Production and Protection Series n. 2. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1977, 609 p.

STACE, H. M.; EDYE, L. A. **The biology and agronomy of Stylosanthes**. Sidney: Academic Press, 1984. 636 p.

TAYLOR, H. M.; BRAR, G. S. Effect of soil compaction on root development. **Soil & Tillage Research**, v. 19, n. 2-3, p. 111-119, 1991.

THOMAS, R. J. Role of legumes in providing N for sustainable tropical pasture systems. **Plant and Soil**, v. 174, n. 1-2, p. 103-118, 1995.

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D. **Soil fertility and fertilizers**. 4. ed. New York: Macmillan, 1985. 1754 p.

CAPÍTULO I

RESISTÊNCIA MECÂNICA À PENETRAÇÃO DE SOLO DO CERRADO

RESUMO

Objetivou-se neste trabalho avaliar o efeito do cultivo de Estilosantes C. G. e de Feijão Guandu sobre o solo de Cerrado, por meio da Resistência Mecânica à Penetração, utilizando aparelho Penetrômetro de Impacto. As leituras foram realizadas até a profundidade de 60cm por canteiro, em Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC). Os valores da resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) foram obtidos pela equação desenvolvida por Stolf (1991) e os resultados foram transformados em Mpa. Foram utilizados 5 canteiros para cada espécie de leguminosas (Estilosantes Campo Grande (*Stylosanthes capitata* e *Stylosanthes macrocephala*) e Feijão Guandu (*Cajanus cajan*)) e 5 canteiros para a testemunha (*Brachiaria decumbens*). O solo possuía alto grau de compactação antes do plantio das leguminosas. Após o plantio, a maior resistência encontrada ficou concentrada nas camadas mais superficiais, com queda da resistência à medida que aprofunda as camadas no solo, para as três espécies. Ficou evidenciado grande variabilidade nas características físicas do solo, quanto a este atributo físico. Os valores de MPa dos três tratamentos foram considerados altos quando comparados aos valores críticos de resistência à penetração, adotados pela literatura. A área do Estilosantes C. G. apresentou diferença significativa em relação às outras duas áreas (Feijão Guandu e Testemunha), por ser a que apresentou menor resistência à penetração do solo.

Palavras-chave: Características físicas do solo, resistência à penetração, atributo físico, compactação.

CHAPTER I

MECHANICAL RESISTANCE TO PENETRATION CERRADO SOIL

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the effect of growing Estilosantes CG and Guandu beans on the soil of the Cerrado, through the Resistance to Mechanical Penetration using Penetrometer device Impact. Readings were taken to a depth of 60cm per bed in completely randomized design (DIC). The values of mechanical resistance to penetration (SPMR) were obtained by the equation developed by Stolf (1991) and the results were transformed into MPa. 5 sites were used for each species of legumes (Estilosantes Campo Grande (*Stylosanthes capitata* and *Stylosanthes macrocephala*) and Beans Guandu (*Cajanus cajan*)) and 5 beds to the witness (*Brachiaria decumbens*). The soil had self degree of compression before planting of legumes. After planting, the largest found strength was concentrated in the upper layers, with fall resistance as deeper layers in the soil, for the three species. Evidenced great variation in the physical characteristics of the soil on this physical attribute. MPa The values of the three treatments were considered high when compared to the critical values of resistance to penetration, adopted by the literature. The area of Estilosantes CG showed significant difference from the other two areas (Guandu Beans and Witness), being the one with least resistance to soil penetration.

Keywords: Soil physical characteristics, resistance to penetration, physical attribute, compression.

1 INTRODUÇÃO

A introdução de novos sistemas agrícolas, o aumento da produção e as práticas de manejo inadequado têm alterado as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. O principal motivo dessas mudanças é a troca dos sistemas naturais por sistemas industriais para a produção de alimentos. À medida que o solo vai sendo dominado pelo uso agrícola, as propriedades físicas sofrem alterações, frequentemente desfavoráveis ao desenvolvimento de vegetais. Por isso, têm sido quantificados os impactos do uso e manejo inadequados na qualidade física do solo, empregando diferentes propriedades físicas ligadas à forma e equilíbrio estrutural do solo como compactação, densidade, resistência do solo à penetração das raízes e absorção de nutrientes.

A degradação dos solos tem início, principalmente, com a derrubada da vegetação para a implantação nessas áreas de um sistema produtivo. Os efeitos nocivos dessa atividade para o solo podem ser observados, tanto a curto, quanto a longo prazo. No entanto, o efeito negativo desse manejo é percebido apenas quando atinge um nível crítico ao ponto de inviabilizar algumas áreas para a produção de culturas.

O aumento da densidade do solo e a redução de sua porosidade são denominados compactação, que se dá quando o solo é exposto a uma pressão contínua, tais como o tráfego de pesadas máquinas agrícolas, pisoteio de animais sobre o campo e do manejo inadequado do solo, além de alguns tipos de solo serem mais vulneráveis à compactação. O nível de compactação do solo utilizado pode ser medido, através da utilização do penetrômetro de impacto.

Enfim, objetivou-se neste trabalho avaliar o efeito do cultivo de leguminosas sobre a resistência mecânica à penetração em diferentes profundidades, antes e após o plantio de duas espécies de leguminosas, visando à melhoria física do solo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

O uso indiscriminado de máquinas e implementos agrícolas na Agricultura brasileira advindos de novas e modernas técnicas que vieram com a abertura de novas fronteiras agrícolas na década de 80, provocaram mudanças prejudiciais às propriedades físicas dos solos (PRIMAVESI, 1986). A autora ressalta que entre todas as mudanças, o aumento da densidade do solo é um fato e, que, é uma “consequência da redução do seu volume por ação de forças externas”. Jorge (1983) destaca que é um processo complexo e está totalmente interagido com fatores ambientais e com a forma de manejo e utilização do solo.

A compactação do solo afeta todos os seus atributos físicos, químicos e biológicos, assim como a dinâmica da água, do ar e do calor, podendo restringir o desenvolvimento radicular das plantas e prejudicar a produtividade das culturas (BEUTLER *et al.*, 2006).

Para avaliar a compactação, tem sido utilizado o atributo físico da resistência do solo à penetração (RP) (CASAGRANDE, 2001; BEUTLER e CENTURION, 2004), pelo fato de estar intrinsecamente ligado ao crescimento das plantas e, também, por ser considerada uma técnica fácil e direta de determinação (STOLF, 1991). Pesquisas mostram que a RP é considerada o melhor parecer do impedimento mecânico do solo ao crescimento radicular e, também, é um indicador sensível da compactação do solo (TORMENA; ROLOFF 1996). Camargo e Alleoni (1997); Benghouh e Mullins (1990) concordam mostrando que o conhecimento e mensuração da compactação e do adensamento do solo são observados nas culturas, e utilizado em diversos métodos como o penetrômetro, por ser esse instrumento, uma ferramenta prática e viável para medir a resistência à penetração do solo.

Conforme a EMBRAPA (2002), “Penetrômetros ou penetrógrafos são instrumentos que medem a resistência à penetração em unidades de pressão (força/área) de um cone padrão posicionado na extremidade de uma haste de metal, quando inseridos no interior do solo”. De acordo com a Embrapa (2002), essa resistência à penetração tem relação direta com a resistência que o solo exerce à penetração e crescimento das raízes, podendo ser então, um parâmetro da compactação dos solos.

Esses instrumentos podem ser divididos em dois grupos, os quais estão

relacionados com a forma de penetração do instrumento no interior do solo: “estáticos” e “dinâmicos” (penetrômetros de impacto). Os penetrômetros estáticos registram a RP por unidade de área, e os penetrômetros dinâmicos (penetrômetro de impacto) registram a RP por unidade de profundidade, o que torna esses dois grupos impossíveis de serem diretamente comparados (HERRICK; JONES, 2002). O autor cita outra diferença entre os dois instrumentos, “o penetrômetro estático eletrônico determina diversos valores de resistência na mesma amostra, dos quais se utiliza o valor médio de RP, e os penetrômetros de impacto e de anel dinamométrico determinam a RP máxima”.

No entanto, pesquisas tem mostrado que para determinar a compactação do solo é feita avaliação por meio da resistência à penetração com a utilização de penetrômetros diversos. Os resultados obtidos dessa avaliação são concluídos nas resistências à penetração crítica ao crescimento radicular das plantas de 2,0 MPa (TAYLOR *et al.*, 1966).

De acordo com a Embrapa (2002), Os penetrômetros estáticos tem seu uso voltados para áreas como a ciência do solo e a agronomia, apresentando duas versões: automáticas e manuais. A primeira versão apresenta aparelhos caros e sofisticados, já a segunda apresenta aparelhos com dificuldade de inserção com velocidade constante. Já os penetrômetros dinâmicos, de forma genérica, tem sido pouco utilizado, tendo uma maior aplicação em avaliações de solos para fins de construção de estradas e geotecnia. Entretanto, os penetrômetros dinâmicos (penetrômetros de impacto) tem sido muito utilizado no campo por vários motivos: para determinar a compactação provocada no solo, oriundas do seu uso e manejo inadequado, pelo baixo custo, por quase não necessitar de calibração e, por último, pelo fato de os resultados independerem do operador. (CASAGRANDE, 2001).

Nesse sentido, Herrick e Jones (2002) constataram que entre todas as aplicações inerentes aos penetrômetros estáticos manuais, estas são decifradas pelo penetrômetro de impacto, além destes ser recomendados para confirmar resultados de operação do penetrômetro estático, nos casos de dúvidas quanto a constância da operação. Por outro lado, os autores destacam a presença de forte padronização dos penetrômetros estáticos eletrônicos em relação aos penetrômetros dinâmicos (penetrômetro de impacto).

Por meio dos trabalhos pioneiros do Dr. Rubsamar Stolf, o Planalsucar/IAA desenvolveu na década de 80 um penetrômetro de impacto (STOLF, 1991) para uso

na avaliação da compactação do solo com ênfase na cultura da cana-de-açúcar. O equipamento é hoje muito utilizado em solos agrícolas para a avaliação da compactação. A Embrapa (2002) aponta que pesquisas tem mostrado diversas vantagens na utilização de penetrômetros dinâmicos, como por exemplo, a publicação de um trabalho na revista Soil Science Society of America Journal.

Um trabalho de Bradford (1986) mostra as principais vantagens e desvantagens dos penetrômetros de impacto (dinâmicos), tendo como vantagens baixo custo, permite trabalhar em solos bem resistentes (secos e argilosos) e também em solos pedregosos. Tem como desvantagens, poucos trabalhos registrados na literatura internacional e é questionado na literatura de modo geral com a hipótese de que os penetrômetros estáticos simulam melhor o processo de penetração das raízes nos solos. O autor evidencia que, apesar da existência de pesquisas voltadas para o desenvolvimento de penetrógrafos hidráulicos automáticos, é notável o frequente uso de penetrômetros de impacto em diversos estudos de manejo e compactação de solos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da Área de Estudo

O experimento foi conduzido em uma área experimental do Departamento de Zootecnia do Campus II da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, no Município de Goiânia, GO, em altitude de 783 metros; 16° 44' 34" de latitude Sul e 49° 12' 46" de longitude Oeste de Greenwich. O clima da Região segundo a classificação de Köppen-Geiger, predomina o clima tropical com estação seca, o ar da cidade é relativamente seco na maior parte do ano, chegando a níveis críticos entre os meses de julho e setembro e, ao extremo, em agosto. As temperaturas mais baixas são registradas no inverno e as mais altas na primavera. A temperatura é amena durante todo o ano, com média de 23,2 °C, sendo a média mínima de 17,7 °C e a máxima de 29,8 °C (normal climatológica de 1961-1990). Há duas estações bem definidas: uma chuvosa, de outubro a abril, e outra seca, de maio a setembro. O índice pluviométrico é de aproximadamente 1.570 milímetros (mm) anuais. Os meses com maior média de precipitação são dezembro (268 mm) e janeiro (267 mm), e os menores são junho (9 mm) e julho (7 mm). A topografia do local é plana com declividade de 2,5% e predominância de Latossolo Vermelho-amarelo distrófico de textura argilo-arenosa (EMBRAPA SOLOS, 2006) tendo como vegetação atualmente predominante o capim Braquiária (*Brachiaria decumbens*).



Figura 1. Localização geográfica da área de estudo. Departamento de Zootecnia do Campus II da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, no município de Goiânia, GO.

Foram utilizados aproximadamente 400m² para o plantio e manejo das leguminosas. Foram utilizados 15 canteiros com as seguintes dimensões: 3m de comprimento, 6m de largura e espaçamento de 5m entre canteiros. O corte de uniformização da leguminosa foi realizado 7 meses após o plantio quando as plantas atingiram aproximadamente 0,4m de altura, este rebaixando as plantas para 0,05 m. As amostras das forrageiras leguminosas foram pré-secadas em estufa a 65°C, moídas em peneira de 2mm e armazenadas em sacos plásticos para futuras análises bromatológicas.

O experimento foi conduzido segundo o Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) com 3 tratamentos e 5 repetições. Os 3 tratamentos incluem as 2 espécies de leguminosas, Estilosantes Campo Grande (*Stylosanthes capitata* e *Stylosanthes macrocephala*) e Feijão Guandu (*Cajanus cajan*), mais a Testemunha (*Brachiaria decumbens*).

3.2 Resistência Mecânica à Penetração

Utilizou-se um Penetrômetro de Impacto modelo IAA/ Planalsucar-Stolf, descrito em Stolf *et al.* (1983) e Stolf e Faganello (1983) com três repetições (subamostras) até a profundidade de 60cm por canteiro. Foram utilizados cinco canteiros de cada espécie mais a testemunha e cada canteiro foi dividido em duas parcelas: parcela A e parcela B. A penetrometria foi realizada em um ponto de cada parcela totalizando dez repetições. Os valores da resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) foram obtidos pela equação desenvolvida por Stolf (1991).

3.3 Tratamento Estatístico dos Dados

Os dados coletados em campo foram organizados em tabelas conforme recomendado por Stolf e Faganello (1983). Para transformar os impactos/dm em Mpa -RMSP- resistência mecânica do solo à penetração foi empregado a equação segundo Stolf (1991):

- $RMSP = 5,8 + 6,89 \times N / 10,2$
- RMSP – Resistência Mecânica do Solo à Penetração em Mpa

- N - número de impactos por decímetro de profundidade.

A avaliação do estado físico do solo antes do plantio das leguminosas foi determinado com base nos valores médios da resistência mecânica do solo à penetração que foram transformados em MPa – RMSP/MPa, referentes a área da Testemunha.

3.4 Cultivo das Leguminosas

O plantio das leguminosas estudadas foi realizado no período de Outubro e novembro de 2013. Para realizar o plantio o solo foi inicialmente preparado, realizando uma capina superficial com o mínimo revolvimento do solo para retirada da gramínea Braquiária. Em seguida foi realizado o sulcamento do solo em linhas com profundidade de 2cm, e espaçamento entre linhas de 50cm. Estabeleceu-se uma faixa de bordadura também de 50cm. Em seguida, o plantio das leguminosas foi realizado com distribuição uniforme das sementes, cobrindo todo o alinhamento linear.

Não faz parte do escopo da pesquisa adubação de plantio e nem a de cobertura.

A condução das culturas foi realizada retirando manualmente ervas indesejáveis e o capim Braquiária, assim como foi realizado o controle de formigas.

Fez-se um corte de uniformização nos meses de março e abril de 2014 e regas entre duas e três vezes na semana, somente nos períodos de estiagem, nos canteiros das duas espécies de leguminosas e nos canteiros das testemunhas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tabela 1. Estatística descritiva e dispersão da resistência mecânica do solo à penetração (RMSP/MPa) na área de estudo.

ESTATÍSTICA	ESTILOSANTES	FEIJÃO GUANDU	TESTEMUNHA
Máximo	15,05	15,58	15,27
Média	7,81	9,30	9,11
Mediana	7,50	8,79	8,78
Moda	NA	9,64	NA
Mínimo	2,98	2,95	3,20
Desv. Padrão	3,06	4,19	3,29
Coef. Variação %	39,11	45,07	36,18

NA- não aplicável

A tabela 1 apresenta as medidas descritivas e de dispersão da resistência mecânica do solo à penetração na área de estudo. Os valores do coeficiente de variação (COEF. VAR %) de 39,11; 45,07 e 36,18% foram elevados (GOMES, 2000), evidenciando grande variabilidade nas características do solo quanto a este atributo físico, na área de estudo, justificado pelas especificidades do solo no perfil vertical avaliado (até 60cm).

Todos os valores encontrados na área de estudo (tabela 1) estão bem acima dos valores encontrados na Literatura e que foram adotados como níveis críticos de resistência à penetração, por exemplo, os valores indicados por Ehlers *et al.* (1983), Nesmith (1987), Merotto Junior e Mundstock (1999) e Canarache (1990), que são de 1,0, 2,0, 3,5 e 5,0 MPa, respectivamente, sendo o limite crítico de resistência à penetração de raízes para diferentes solos.

Os valores encontrados na área da Testemunha foram: mínimo 3,20, médio 9,11, máximo 15,27 (tabela 1), significando muito altos, quando comparados aos valores encontrados na Literatura e que são considerados de níveis críticos para a resistência. Isso significa que a área do experimento, antes do plantio das leguminosas apresentou um nível crítico de resistência à penetração de raízes para este solo, pois segundo Silva, Tormena e Imhoff (2002), um valor de 2,0 MPa de resistência à penetração do solo tem sido associado a condições impeditivas para o crescimento das raízes e da parte aérea das plantas. Grant e Lafond (1993) concordam mostrando que valores que variam de 1,5 a 3,0 MPa são considerados como limite crítico;

Tormena, Silva e Libardi (1998) evidenciam que o valor de resistência do solo à penetração de 2,0 MPa é considerado como restritivo ao desenvolvimento das plantas. Entretanto, Camargo e Alleoni (1997), afirmam que quando a resistência à penetração é menor do que 1,1 MPa não ocorre limitação ao crescimento radicular e o solo é considerado como de muito baixa resistência; enquanto que para valores entre 1,0 e 2,5 MPa, a resistência deve ser considerada baixa e ocorre pouca limitação ao crescimento radicular.

Por outro lado, Dexter e Watts (2000) afirmam que em solos com condições de maior umidade pode haver crescimento radicular em valores de resistência à penetração superiores a 4,0 MPa, alegando que a compactação do solo é mais prejudicial em solo seco. Dessa forma, percebe-se que existe divergências na literatura em relação ao nível crítico de resistência à penetração; apesar de que em muitas pesquisas, o valor de 2,0 MPa é considerado o indicador desse limite crítico. Portanto, os resultados deste experimento mostraram que o solo possuía alto grau de compactação antes do plantio das leguminosas, por apresentar alta resistência à penetração e, conseqüentemente, grande limitação ao crescimento radicular.

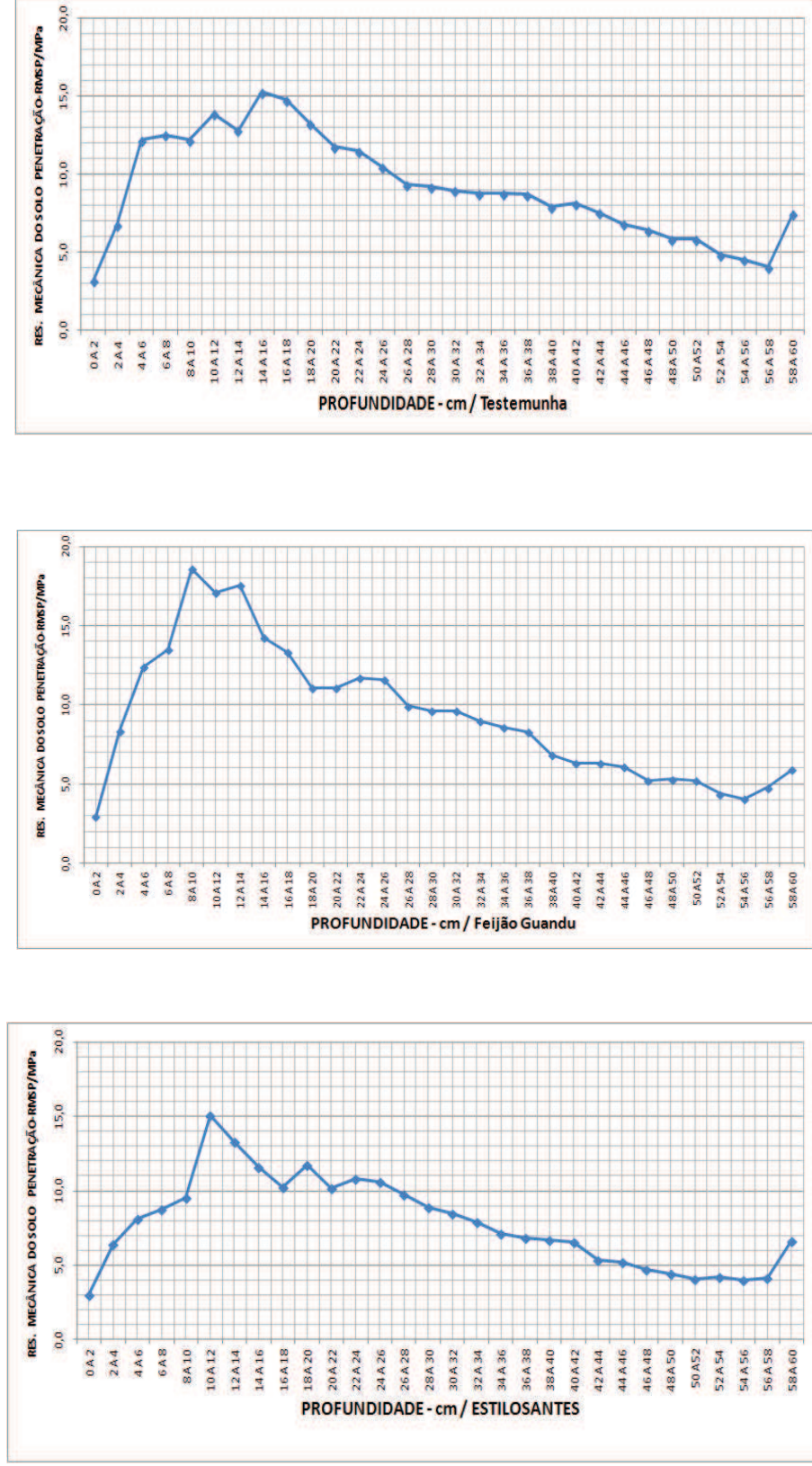


Figura 2. Resultados médios da resistência mecânica do solo à penetração (RMSP/MPa) das fileiras do Estilosantes C. G. (a), Feijão Guandu (b) e Testemunha (c), dos pontos A e B.

A figura 2 mostra os resultados médios de resistência mecânica do solo à penetração (RMSP/MPa) para os três tratamentos nos pontos A e B.

Para a espécie Estilosantes C. G. e a Testemunha ficou evidenciado um valor elevado de MPa de 15,0 com diferença nas profundidades, em que, para o Estilosantes a maior compactação ficou entre as profundidades de 10 a 12 cm e para a Testemunha houve maior compactação nas profundidades entre 14 a 16 cm. Para a espécie Feijão Guandu destacou-se, também, um alto grau de compactação com maior valor de MPa de 19,0 nas profundidades entre 8 a 10 cm, quando comparado aos outros dois tratamentos.

Na área com o Estilosantes C. G. (figura 2a), evidenciou uma maior resistência à penetração do solo nas profundidades de 10 a 12, 12 a 14 e 14 a 16 cm, indicando uma maior resistência nas camadas mais próximas à superfície, com queda na resistência à penetração, à medida em que aprofunda as camadas no solo.

Na área com o Feijão Guandu (figura 2b), indicou maior resistência do solo à penetração nas profundidades de 8 a 10, 10 a 12 e 12 a 14 cm, indicando, também, uma maior resistência à penetração nas camadas mais superficiais do solo e apresentando o mesmo nível de queda na resistência à penetração nas camadas mais profundas do solo.

Na área com a Testemunha (figura 2c), notou-se uma maior resistência à penetração do solo nas profundidades de 14 a 16 e de 16 a 18 cm, indicando uma maior resistência à penetração nas camadas mais próximas a superfície do solo, com queda na resistência à penetração a medida que aprofunda as camadas no solo.

Os resultados da resistência mecânica do solo à penetração (RMSP/MPa) das duas espécies mais a testemunha (figuras 2a, 2b, 2c) estão similares; indicam resistência à penetração nas camadas mais próximas à superfície com queda dessa resistência à medida que aprofunda as camadas no solo, principalmente a partir das profundidades 26cm a 28cm até as profundidades 56cm a 58cm. Percebeu-se, então, que a maior resistência encontrada no solo ficou concentrada nas camadas mais superficiais com mínima diferença de profundidade entre as três áreas estudadas (Estilosantes C. G., Feijão Guandu e Testemunha). Essa similaridade nos resultados pode ser justificada pela ausência de interferência no solo, por parte das duas espécies em relação a testemunha. Campos (1977) encontrou resultados semelhantes em trabalhos com leguminosas obtendo resultados positivos para camadas mais

profundas do solo. O autor atribuiu tal resultado, pelo fato de as leguminosas possuírem características rústicas e resistentes às condições climáticas adversas. Os resultados aqui apresentados corroboram as afirmações de Barley (1962) para o qual “as raízes não se desenvolvem quando submetidas a elevada resistência à penetração, qualquer que seja o nível de oxigênio no meio”.

A queda na resistência à penetração, a partir da profundidade 26cm para os três tratamentos, pode ser justificada pelas especificidades do solo nessa faixa, como as condições climáticas e o teor de umidade, que podem ter estado dentro de um valor considerável para este solo, no período das coletas.

Tabela 2. Valores médios de resistência do solo à penetração (MPa) nas camadas 0-10 e 10-20, na área de estudo.

Penetrometria				
Tratamentos	Ponto A		Ponto B	
	*VC- Imp/dm**	RMSP/MPa***	VC- Imp/dm	RMSP/MPa
Estilosantes C.G.	9,66A	12,32A	11,78A	13,76A
Feijão Gandu	13,33B	14,80B	12,525A	14,26B
Testemunha	13,00B	14,58B	12,3A	14,85B
CV%	9,5	13,66	13,65	15,49

Médias nas colunas seguidas por letras maiúsculas iguais não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

*Valor calculado

**Impacto por decímetro

***Resistência mecânica do solo à penetração

A tabela 2 mostra a comparação entre os valores médios da resistência à penetração do solo com avaliação da hipótese nula pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, evidenciando que apenas o Estilosantes demonstrou diferença significativa, quanto a este atributo físico do solo. Com base nos valores de posição da tabela 1 da área do Estilosantes C. G., os resultados mostraram que foi a que apresentou menor resistência mecânica do solo à penetração, em comparação às outras duas áreas.

O resultado apontou uma menor resistência do solo à penetração na área do Estilosantes C. G. em relação ao Feijão Guandu e a Testemunha. Entretanto, os valores de MPa das duas espécies mais a testemunha foram considerados altos,

quando comparados aos valores críticos de resistência à penetração adotados pela Literatura. Isso indica que mesmo após o plantio das duas espécies, o solo continuou com alta resistência à penetração (conforme indicam os valores de MPa). Por outro lado, a espécie Estilosantes C. G., mesmo dentro dos valores críticos (que determinaram a resistência do solo), foi a que conseguiu uma certa modificação na estrutura física do solo, por apresentar os menores valores de MPa, quando comparada ao Feijão Guandu e a Testemunha. O resultado referente ao menor valor de (MPa) da espécie Estilosantes C. G., pode ter uma relação com o tipo de raiz das leguminosas, as quais, possuem um sistema radicular pivotante, mais profundo e mais denso, capaz de captar camadas de água mais profundas no solo e, portanto, são mais resistentes à seca (SALTON *et al.*, 2001). Entretanto, o desenvolvimento radicular do Feijão Guandu é mais lento se comparado com outras culturas, como o Estilosantes C. G. (CECATO *et al.*, 2001). Esse fato leva a crer que o Estilosantes C, G. teve seu desenvolvimento radicular mais rápido dentro do tempo determinado para o plantio e crescimento das plantas que foram de 10 meses.

CONCLUSÕES

1. Os resultados deste experimento mostraram que o solo possuía alto grau de compactação, antes do plantio das leguminosas, por apresentar alta resistência à penetração (RMSP) e, conseqüentemente, grande limitação ao crescimento radicular.

2. Após o plantio, a maior resistência encontrada no solo ficou concentrada nas camadas mais superficiais, com mínima diferença de profundidade entre as três áreas estudadas (Estilosantes Campo Grande, Feijão Guandu e Testemunha).

3. A área do Estilosantes C. G. foi a que mostrou diferença significativa em relação as outras duas áreas (Feijão Guandu e Testemunha), por ser a que apresentou menor resistência à penetração do solo (RMSP/MPa).

4. Ficou evidenciado grande variabilidade nas características físicas do solo, quanto a este atributo físico, na área de estudo.

5. Os valores de MPa dos tratamentos (Estilosantes C. G., Feijão Guandu e Testemunha) foram considerados altos, quando comparados aos valores críticos de resistência à penetração adotados pela Literatura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARLEY, K. P. The effects of mechanical stress on the growth of roots. **Journal Experimental Botany**, Lancaster, v. 13, n. 1, p. 95-110, 1962.

BENGHOUGH, A. G.; MULLINS, C. E. Mechanical impedance to root growth: a review of experimental techniques and root growth responses. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 41, n. 3, p. 341-58, 1990.

BEUTLER, A.N; CENTURION, J.F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular na produtividade de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 39, n. 6, p. 581-8, 2004.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SILVA, A. P.; BARBOS, J. C. Intervalo hídrico ótimo e produtividade de cultivares de soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 639-45, 2006.

BRADFORD, J. M. Penetrability. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. 2.ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 463-477.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba, SP: ESALQ, 1997. 132p.

CAMPOS, J. C. B.; **Relatório sobre campos demonstrativos de adubação verde na cana-de-açúcar**. Campos dos Goytacazes: FUNDENOR, 1977. 6 p.

CANARACHE, A. Penetr – a generalized semi-empirical model estimating soil resistance to penetration. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 16, n. 1, p. 51-70, 1990.

CASAGRANDE, A. A. Compactação e manejo do solo na cultura da cana-de-açúcar. In: MORAES, M.H.; MÜLLER, M.M.L.; FOLONI, J.S.S. (Ed.). **Qualidade física do solo: métodos de estudo - sistemas de preparo e manejo do solo**. Jaboticabal: FUNEP, 2001. p.150-97.

CECATO, U.; CANO, C. C. P.; BORTOLO, M.; HERLING, V. R.; CANTO, M. W.; CASTRO, C. R. C. Teores de carboidratos não-estruturais, nitrogênio total e peso de raízes em Coastacross-1 (*Cynodon dactylon* (L.) Pers) pastejado por ovinos. **Revista Brasileira de Zootecnia, Brasília**, v. 30, n. 3, p. 644-650, 2001.

CUNHA, F. F.; RAMOS, M. M.; ALENCAR, C. A. B.; MARTINS, C. E. CÓSER, A. C.; OLIVEIRA, R. A. Sistema radicular de seis gramíneas irrigadas em diferentes adubações nitrogenadas e manejos. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 2, p. 351-357, 2010.

DEXTER, A. R.; WATTS, C. Tensile strength and friability. In: SMITH, K.; MULLINS, C. (Ed.). **Soil and environmental analysis, physical methods**. New York: Marcel Dekker, 2000. p.401-430.

EHLERS, W.; KOPKE, V.; HESSE, F.; BÖHM, W. Penetration resistance and root

growth of oats in tilled and untilled loess soil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 3, n. 2, p. 261-275, 1983.

EMBRAPA. **As principais espécies de Brachiaria utilizadas no país**. Juiz de Fora, MG: Embrapa Gado de Leite, 2002. 4 p. (Comunicado Técnico 22).

EMBRAPA SOLOS. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2ª ed., Rio de Janeiro, RJ: EMBRAPA, 2006. 306 p.

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 14ª ed. Piracicaba: Degaspari, 2000. 477 p.

GRANT, C. A.; LAFOND, G. P. The effects of tillage systems and crop sequences on soil bulk density and penetration resistance on a clay soil in Southern Saskatchewan. **Canadian Journal Soil Science**, Ottawa, v. 73, n. 2, p. 223 - 232, 1993.

HERRICK, J. E.; JONES, T. L. A dynamic cone penetrometer for measuring soil penetration resistance. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 66, n. 4, p. 1320-1324, 2002.

JORGE, J. A. **Compactação do solo, causas, conseqüências e maneiras de evitar sua ocorrência**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1983. 23 p. (Circular Técnica 22).

MEROTTO JÚNIOR, A.; MUNDSTOCK, C. M. Wheat root growth as affected by soil strength. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 197-202, 1999.

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

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: A agricultura em regiões tropicais**. 9. ed. São Paulo : Livraria Nobel, 1986. 549 p.

SALTON, J. C.; FABRÍCIO, A. C.; HERNANI, L. C. Rotação lavoura pecuária no sistema de plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 208, p. 92-99, 2001.

SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; IMHOFF, S. Intervalo hídrico ótimo. In: MORAES, M. H.; MÜLLER, M. M. L.; FOLONI, J. S. S. **Qualidade física do solo: métodos de estudo sistemas de preparo e manejo do solo**. Jaboticabal: FUNEP, 2002. p.1-18.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, p. 229-235, 1991.

STOLF, R.; FAGANELLO, B. F. Utilização do penetrômetro de impacto, modelo IAA/Planalsucar-Stolf, na recomendação do preparo do solo na Usina Nossa Senhora Aparecida (Pontal-SP). **STAB**, Piracicaba, v. 1, n. 6, p. 1122, 1983. (Série Pene-

trômetro de Impacto. Boletim n. 3)

STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V.L. Penetrômetro de impacto IAA/Planalsucar-STOLF (Recomendações para seu uso). **STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 3, p. 18-23, 1983.

TAYLOR, H. M.; ROBERSON, G.M.; PARKER JÚNIOR, J. J. Soil strength-root penetration relations to medium to coarse-textured soil materials. **Soil Science**, Baltimore, v. 102, n. 1, p. 18-22, 1966.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, n. 2, p. 333-39, 1996.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo P, **Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 573-581, 1998.

CAPÍTULO II

DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DE SOLO DO CERRADO

RESUMO

Objetivou-se neste trabalho avaliar as características físicas de solo do Cerrado, por meio da Densidade Aparente (DA) antes e após o plantio de duas espécies de leguminosas (Estilosantes Campo Grande (*Stylosanthes capitata* e *Stylosanthes macrocephala*) e Feijão Guandu (*Cajanus cajan*)), visando à melhoria física do solo. A densidade foi obtida, a partir de amostras do solo coletadas, por meio de anéis de aço (Anel de Kopeck). Foram coletadas duas amostras indeformadas nas profundidades (0-10 e 10-20 cm) com 2 repetições. O procedimento metodológico para obtenção da densidade aparente foi descrito em Kiehl (1979). Os tratamentos com as duas espécies de leguminosas mais a testemunha foram dispostos em 20 canteiros divididos em 5 fileiras. O experimento foi conduzido, segundo o Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) com 3 tratamentos e 5 repetições. A densidade mensurada nos canteiros apresentou baixa variabilidade, sugerindo um solo com características homogêneas para as três áreas estudadas. Das espécies avaliadas nos canteiros, o Estilosantes C. G. foi a que mais influenciou as características físicas do solo, quanto a densidade. Os valores deste estudo foram considerados elevados para este atributo físico. Os elevados valores de DS indicaram uma possível compactação e/ou adensamento, podendo afetar o crescimento e desenvolvimento das raízes das plantas.

Palavras-chave: Solo, Compactação, Densidade, Leguminosas.

CHAPTER II

DETERMINATION OF CLOSED SOIL DENSITY

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the physical characteristics of Cerrado soil through Bulk Density (DA) before and after planting two species of legumes (Estilosantes Campo Grande (*Stylosanthes capitata* and *Stylosanthes macrocephala*) and Beans Guandu (*Cajanus cajan*)), aiming at physical soil improvement. The density was obtained from soil samples collected by steel rings (Kopeck ring). Two soil samples were collected in the depths (0-10 and 10-20 cm) with two repetitions. The methodological procedure for obtaining the bulk density was described in Kiehl (1979). Treatment with the two kinds of pulses plus the control plots were arranged in 20 divided into 5 ranks. The experiment was conducted under completely randomized design (CRD) with three treatments and five repetitions. The density measured in the beds showed low variability, suggesting a soil with homogeneous characteristics for the three areas studied. Of species assessed in the beds, the Estilosantes CG was the one that most influenced the physical characteristics of the soil and the density. The values of this study were considered high for this physical attribute. The high DS values indicate a possible compression and / or densification, and may affect the growth and development of plant roots.

Keywords: Soil, Compaction, Density, Legumes.

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a ciência do solo tem se preocupado bastante com a questão da deterioração da qualidade do solo, pois, tanto a retirada da cobertura vegetal quanto o uso intensivo da mecanização com implementos agrícolas em todas as operações de cultivo do solo (semeadura, tratos culturais e colheita) interferem direta ou indiretamente na sua capacidade produtiva. Nesse sentido, o monitoramento da qualidade do solo, através da avaliação dos seus atributos físicos poderão prover informações necessárias para alcançar a sustentabilidade dos sistemas agrícolas.

Uma forma atual de medir a qualidade física do solo tem sido através da Densidade do Solo (DS), técnica essa que apresenta relações intrínsecas com outros atributos do solo como porosidade, umidade, condutividade hidráulica e resistência à penetração.

Reichardt e Timm (2004) enfatizam que a DS pode ser usada como um índice do grau de compactação de um solo; pelo fato de ser um material poroso, ao ser comprimido, a mesma massa pode ocupar um volume menor e, conseqüentemente afetaria sua estrutura, o arranjo e volume dos poros, assim como as características de retenção de água.

A definição de Densidade do Solo (DS) na Literatura é a relação existente entre a massa de uma amostra de solo seca a 105° – 110° C e a soma dos volumes ocupados pelas partículas e poros.

A densidade do solo tende a aumentar com a profundidade do perfil, já que a compactação nada mais é que as pressões que as camadas superiores exercem sobre as camadas subjacentes, fenômeno este que reduz a porosidade do solo. A DS pode variar seu valor para um mesmo solo e pode alterar conforme a estruturação. Por isso, se o manejo for incorreto pode ocorrer a compactação, alterar a estrutura e ter como consequência a alteração da DS.

A DS elevada é um sinal concreto de compactação, de queda na estruturação do solo e diminuição de sua porosidade total, trazendo assim, restrições para o crescimento e desenvolvimento das plantas. A DS pode ser estimada, quanto a porosidade e compactação do solo, mas levando em consideração que numa mesma classe textural, quanto maior a densidade do solo; menor será a quantidade de vazios.

Objetivou-se, neste trabalho, avaliar o efeito do plantio de duas espécies de leguminosas, Estilosantes Campo Grande (*Stylosanthes capitata* e *Stylosanthes macrocephala*) e Feijão Guandu (*Cajanus cajan*) sobre a densidade de solo do Cerrado, visando à melhoria física do solo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A densidade do solo (DS) é uma das características de avaliação que pode ser usada como indicador da qualidade estrutural do solo, principalmente nos casos de processos de degradação, visto que se associa à estrutura, à densidade de partícula, e à porosidade do solo (EMBRAPA – MILHO e SORGO, 2008). De acordo com a EMBRAPA (2008), a DS é considerada um fator importante e uma ferramenta essencial para avaliar a estrutura de solos sujeitas à variação, conforme o seu uso e manejo e; também, para avaliar a determinação da compactação do solo.

A Embrapa Milho e Sorgo (2008) tem trabalhado com pesquisas que mostram outro exemplo de uso da DS, que é a medição para fazer a conversão da umidade determinada em base gravimétrica para a umidade em base volumétrica, utilizada nos cálculos de disponibilidade de água para as plantas e determinação da necessidade de irrigação.

Fatores como a natureza, as dimensões e a forma como estão dispostas as partículas do solo, influenciam na determinação da DS. Os valores da DS podem mudar dependendo do tipo de solo: nos solos minerais os valores oscilam de 1,1 a 1,6g/cm³, já nos solos orgânicos a densidade é inferior, encontram-se valores entre 0,6 a 0,8g/cm³, com amplitude de variação dentro dos seguintes limites médios: solos argilosos, de 1,00 a 1,25g/cm³; solos arenosos, de 1,25 a 1,40g/cm³; solos húmicos, de 0,75 a 1,00g/cm³ e solos turfosos, de 0,20 a 0,40g/cm³ (RABELO, 2000).

De acordo com Rabelo (2000), por meio da determinação da DS é possível avaliar diversas propriedades do solo, como a drenagem, a porosidade, a condutividade hidráulica, a permeabilidade do ar e da água, a capacidade de saturação, o volume de sedimentação e, a erodibilidade eólica. A autora salienta que todos esses atributos juntos contribuem para o conhecimento da DS, o qual, é essencial para fornecer informações para a recomendação da terra em vários tipos de culturas.

Conforme a Embrapa Milho e Sorgo (2008), A densidade é definida como a relação entre a massa de sólidos secos do solo e seu volume total, tendo como unidades de medida, no Sistema Internacional, kg m⁻³ ou g cm⁻³, como mostrado na equação 1:

[Equação 1]

$$D_s = \frac{m_s}{V_s}$$

onde

D_s é a densidade de solo,

m_s é a massa do solo seco e

V_s é o volume do solo.

Ainda conforme a Embrapa (2008), A relação entre a densidade de solo, a densidade de partícula e a porosidade é definida pela fórmula (Equação 2):

[Equação 2]

$$P_s = 1 - \frac{D_s}{D_p}$$

onde

P_s é a porosidade do solo,

D_s é a densidade de solo e

D_p é a densidade de partícula.

Esse método de determinação da densidade da Embrapa (2008) mostra que pela medição direta dessas duas variáveis é, então, obtida a DS. O método usual para determinação da densidade envolve a obtenção de uma amostra de volume conhecido, por meio de anéis volumétricos inseridos no solo com o uso de equipamento apropriado. A massa da amostra é obtida por pesagem em balança analítica após remoção da umidade em estufa a 105°C até peso constante.

Esse método, denominado “método do anel volumétrico” é considerado o mais comum e também o mais utilizado em diversos trabalhos de avaliação da densidade do solo (EMBRAPA, 1997). Segundo a Embrapa Solos (1997), mesmo sendo simples e de certa forma rápido, é um método que requer cuidado ao ser colocado

em prática, pois, exige certos cuidados, no sentido de preservar as amostras coletadas, evitando assim, sua deformação ou sua ruptura. Entretanto, o método do anel volumétrico é dotado de uma limitação relativa a sua prática: “a necessidade da inserção do anel no solo por pressão”, que é possível somente se o solo trabalhado for ou estiver livre de “corpos rígidos” (maiores que a fração areia), como por exemplo, cascalhos, calhaus e ou raízes muito espessas. A Embrapa Solos (1997) justifica esse fato mostrando que “a presença desses corpos impede a inserção do cilindro, podendo danificar a borda cortante do anel ou, ainda, causar a deformação da amostra, caso seja aplicada pressão adicional para romper a resistência desse objeto”.

As consequências da degradação dos solos têm trazido para os sistemas de produção o desafio de viabilizar projetos de maior eficiência energética e proteção ambiental, com modelos de tecnologias avançadas para a agricultura, buscando a sustentabilidade (ALVES, 2001).

A Densidade do Solo (DS) é considerada um dos principais indicadores para a avaliação da qualidade física do solo (INGARAMO, 2003), tendo destaque entre as propriedades físicas propostas como indicadores básicos para este fim (DORAN; PARKIN, 1994). Além dela, outros fatores também são adequados para este propósito: porosidade, distribuição do tamanho de poros, resistência mecânica, condutividade hidráulica, distribuição de tamanhos de partículas e profundidade em que as raízes crescem (INGARAMO, 2003).

Stenberg (1999) salienta que para a avaliação física do solo é importante que todos esses indicadores sejam usados de forma conjunta e jamais de maneira isolada. É possível que exista uma relação entre todos os atributos do solo, os quais, beneficiem o processo do ecossistema. Conforme o autor, a seleção desses indicadores vai depender de critérios relacionados aos interesses e objetivos propostos.

A densidade do solo quando elevada, significa que há comprometimento na estrutura do solo e redução da sua macroporosidade, fato este comprovado por Alves (1992) e Veiga *et al.* (1994) quando observaram que na degradação do solo existia relação inversa entre densidade e porosidade total.

Há mais de três décadas iniciou-se na Região do Cerrado o processo de incorporação de áreas para a produção de grãos, o qual, teve início com o emprego de sistemas de preparo intensivo do solo. A partir dessa época surgiram diversos tipos de processos de preparo do solo, que, de forma genérica denominaram-se sis-

temas de preparo convencional (COSTA *et al.*, 2006). Conforme os autores, a partir daí os solos da Região do Cerrado começaram a sofrer com o revolvimento intenso e contínuo que teve como consequência, a queda na sua qualidade.

De acordo com Seguy *et al.* (1984), dois fatores contribuem potencialmente para a degradação dos solos do Cerrado, o primeiro é a pulverização do solo, pois aumenta a exposição dos compostos orgânicos; o segundo, é a formação de uma zona compactada abaixo da camada arada, que é favorecida pelas condições de manejo do solo. Segundo o autor, esses fatos trouxeram para a sociedade contemporânea a preocupação com a qualidade dos solos da Região do Cerrado e a busca por novas formas de manejo como tendência para uma produção mais sustentável.

Segundo Sano *et al.* (2000), na Região do Cerrado existe uma área de 204 milhões de hectares e, dessas, aproximadamente 50 milhões são ocupadas por pastagens cultivadas, as quais, cerca de 70 e 80% estão em processo de degradação ou já se encontram degradadas. Esse processo é resultado de manejo inadequado e traz como consequência, a redução na porosidade total das camadas superficiais do solo, acarretando problemas para a reserva de água disponível. Balbino *et al.* (2001) concorda mostrando que isso ocorre “especialmente à medida que a meso e a microporosidade do solo se reduzem”.

Os indicadores da qualidade física do solo são atributos que, geralmente, estão sendo utilizados para a avaliação física do solo e podem ser: a densidade, a porosidade, a condutividade hidráulica, a curva característica de retenção de água e, a resistência à penetração (BALBINO *et al.*, 2004; IMHOFF *et al.*, 2000). De acordo com os autores, são atributos que chamam a atenção “pela relativa facilidade de determinação e pelo baixo custo de obtenção das medidas”. Dessa forma, eles contribuem na comparação entre os sistemas de manejo e de uso do solo e no estudo do efeito da conversão de áreas nativas em lavouras ou pastagens (OLIVEIRA *et al.*, 2004; LEÃO *et al.*, 2006).

Existe uma tendência mundial mostrando que o uso em longos períodos de pastagens perenes, gramíneas e ou leguminosas, proporcionam benefícios para a estrutura do solo, melhorando a sua qualidade e; conseqüentemente, aumentam a produtividade de lavouras subsequentes (GARCÍA-PRÉCHAC *et al.*, 2004). Dessa forma, a inclusão de pastagens na rotação com culturas aumenta a estabilidade de agregados, a macroporosidade e a condutividade hidráulica (MARCHÃO, 2007). Conforme o autor; três motivos são responsáveis por esse evento: “ausência de pre-

paro durante o ciclo da pastagem, presença de um denso sistema radicular, que atua como agente agregante, e maior atividade da macrofauna do solo em pastagens”. Marchão (2007) enfatiza que nos casos em que o manejo do solo exige sua preparação, ocorre a reversão de todo esse processo.

A recuperação da estrutura do solo é, hoje, um desafio a ser conquistado por meio de ações planejadas para que se crie condições de restabelecimento, também, dos processos ecológicos naturais de cada ecossistema. As consequências advindas da degradação dos solos têm potencializado esse desafio no sentido de buscar diferentes tipos de sistemas de produção, voltados para uma maior eficiência energética e com tecnologias eficientes e viáveis para a Agricultura, capazes de criar modelos baseados na Sustentabilidade Agrícola, a fim de amenizar os problemas ambientais e viabilizar a sua conservação (ALVES, 2001).

2.1 Solo do Cerrado

O Bioma Cerrado é considerado relevante por ocupar cerca de um quarto do território nacional. Desde a construção da Capital Federal (Brasília), chegaram os incentivos fiscais governamentais: abertura de estradas, criação de comunidades, incentivo à criação de gado, expansão da área agrícola, entre outros, trouxeram por um lado o desenvolvimento da Agropecuária e por outro, mudanças radicais com alterações da paisagem na Região (SIQUEIRA NETO *et al.*, 2009)

Os Latossolos do Cerrado Brasileiro abrangem cerca de 50% de toda a área do território nacional e possuem como características; acidez de origem e baixa fertilidade natural, consequências do seu alto grau de intemperismo, tendo como contraste elevada estabilidade dos agregados, geralmente apresentam baixos teores de cátions básicos (FAGERIA; GHEYI, 1999; SILVEIRA *et al.*, 2000). A alta na estabilidade dos agregados se deve a atuação dos óxidos de alumínio e ferro que marcam presença na fração argila, pela baixa densidade do solo, por apresentar macroporos em alto volume e, também, alta friabilidade (MACEDO, 1996; FERREIRA *et al.*, 1999).

Outras características dos solos do Cerrado são evidenciadas por Fageria (2001) como a acentuada deficiência de Cálcio, Magnésio e Fósforo e a alta concentração de Alumínio. Conforme os autores, essas características tendem a favorecer

muito o manejo do Cerrado, pois por um período foram limitantes para o seu cultivo e necessárias medidas de uso intensivo de corretivos e fertilizantes químicos. Por outro lado, o Bioma conta com duas estações do ano bem definidas: uma seca e outra chuvosa, além de possuir solos profundos e fisicamente saudáveis, além de ser beneficiado com uma topografia plana.

Todas essas características favoreceram o uso intenso de máquinas e implementos agrícolas que provocam pressões na superfície do solo e que ocorrem, geralmente, com mais de duas atividades de cultivos anuais; transformaram o Bioma Cerrado na maior fronteira agrícola brasileira nas décadas de 1970 e 1980 (SIQUEIRA NETO, 2009).

De acordo com Carvalho Júnior e Costa (1998), a situação de manejo em que se encontra o Cerrado desde essa época, tem provocado sérias modificações nas propriedades dos solos e, assim, acarretado sérios problemas de compactação e adensamento, reduzindo a macroporosidade, tanto em solos cultivados, quanto em solos com vegetação natural.

No adensamento ocorre a desagregação que é causada por modificações químicas e físicas, tendo como exemplo a calagem e ciclos de umedecimento e secagem, respectivamente (JUCKSCH, 1987; OLIVEIRA, 1992). Esses eventos, como mostram os autores, podem ter diversas causas e origens, tanto naturais, quanto antrópicas: a chuva e os dispersantes químicos e, conseqüentemente, a desagregação parcial do solo, a dispersão das partículas sólidas e a desagregação mecânica.

Apesar dos problemas, os solos da Região do Cerrado, quando corrigidos quimicamente são relevantes e contribuem muito para a produção agropecuária e; conseqüentemente, para a economia do país. No entanto, tem sofrido com a substituição da maioria de sua vegetação original por grandes áreas de pastagens e culturas anuais, o que acarretou grandes alterações físicas, químicas e biológicas, nessa transição de sistemas naturais para sistemas agrícolas (CARVALHO FILHO *et al.*, 1998), principalmente pelo uso incorreto de máquinas e equipamentos pesados nas lavouras. Tudo isso, tem causado graves problemas: erosão hídrica, afetando a estrutura do solo e, conseqüentemente, o Meio Ambiente (RESENDE *et al.*, 1996).

A Sustentabilidade de um sistema de produção pode ser detectada por meio de indicadores específicos que mostram a situação através de diversos parâmetros do solo; entre eles se destaca o estado de agregação do solo, que é detectado pela estabilidade de seus agregados e, o índice S, que é uma técnica mais re-

cente para facilitar a visualização dos efeitos de práticas distintas de manejo e condições físicas do solo (DEXTER, 2004). De acordo com o autor, existe um limite entre solos para determinar a qualidade estrutural, que indica a boa e má qualidade, variando entre valores de $S = 0,035$, indica uma boa condição física do solo; valores de $S = < 0,020$, indica uma má condição física do solo.

Estudos apontam que as culturas de cobertura e os atributos físicos do solo estão interagidos e se relacionam com tais fatores: as características intrínsecas de cada espécie, o manejo dos resíduos culturais e as condições edafoclimáticas de cada região (MOREIRA *et al.*, 2009).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da Área de Estudo

O experimento foi conduzido em uma área experimental do Departamento de Zootecnia do Campus II da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, no Município de Goiânia, GO, em altitude de 783 metros; 16° 44' 34" de latitude Sul e 49° 12' 46" de longitude Oeste de Greenwich. O clima predominante da Região, segundo a classificação de Köppen-Geiger, é o clima tropical com estação seca, o ar da cidade é relativamente seco na maior parte do ano, chegando a níveis críticos entre os meses de julho e setembro e; ao extremo, em agosto. As temperaturas mais baixas são registradas no inverno e as mais altas na primavera. A temperatura é amena durante todo o ano, com média de 23,2 °C, sendo a média mínima de 17,7 °C e a máxima de 29,8 °C (normal climatológica de 1961-1990). Há duas estações bem definidas: uma chuvosa, de outubro a abril, e outra seca, de maio a setembro. O índice pluviométrico é de aproximadamente 1 570 milímetros (mm) anuais. Os meses com maior média de precipitação são dezembro (268 mm) e janeiro (267 mm), e os menores são junho (9 mm) e julho (7 mm). A topografia do local é plana com declividade de 2,5% e predominância de Latossolo Vermelho-amarelo distrófico de textura argilo-arenosa (EMBRAPA SOLOS, 2006) tendo como vegetação, atualmente predominante o capim Braquiária (*Brachiaria decumbens*).



Figura 1. Localização geográfica da área de estudo. Departamento de Zootecnia do Campus II da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, no município de Goiânia, GO.

Foram utilizados aproximadamente 400m² para o plantio e manejo das leguminosas, em 20 canteiros com as seguintes dimensões: 3m de comprimento, 6m de largura e espaçamento de 5m entre canteiros. O corte de uniformização da leguminosa foi realizado 7 meses após o plantio, quando as plantas atingiram aproximadamente 0,4m de altura, este rebaixando as plantas para 0,05 m. As amostras das forrageiras leguminosas foram pré-secadas em estufa a 65°C, moídas em peneira de 2mm e armazenadas em sacos plásticos para futuras análises bromatológicas. Foram coletadas duas amostras indeformadas nas profundidades (0-10 e 10-20) com 2 repetições (0-10 + 0-10 e 10-20+10-20) por meio de um anel volumétrico de aço modelo Kopeck, com volume interno de 100 cm³.

O experimento foi conduzido segundo o Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) com 3 tratamentos e 5 repetições. Os 3 tratamentos incluem as 2 espécies de leguminosas, Estilosantes Campo Grande (*Stylosanthes capitata* e *Stylosanthes macrocephala*) e Feijão Guandu (*Cajanus cajan*), mais a testemunha (*Brachiaria decumbens*). Os resultados dos atributos físicos analisados estatisticamente (análise de variância pelo teste F), considerou o delineamento utilizado e os tratamentos (duas leguminosas e a testemunha), os dois pontos de coleta (densidade) e as duas profundidades (3 x 2 x 2). A comparação entre as médias dos tratamentos foi realizada pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Neste trabalho, o solo de Cerrado utilizado de textura argilo-arenosa, se adaptou perfeitamente às condições exigidas para o perfeito uso do “método do anel volumétrico”.

3.2 Cultivo das Leguminosas

O plantio das leguminosas estudadas foi realizado no período de outubro e novembro de 2013. Para realizar o plantio o solo foi, inicialmente, preparado, realizando uma capina superficial com o mínimo revolvimento do solo para retirada da gramínea Braquiária. Em seguida, foi realizado o sulcamento do solo em linhas com profundidade de 2cm, e espaçamento entre linhas de 50cm. Foi estabelecido faixa de bordadura, também, de 50cm. Em seguida, o plantio das leguminosas foi realizado com distribuição uniforme das sementes cobrindo todo o alinhamento linear.

Não faz parte do escopo da pesquisa adubação de plantio e nem a de cobertura.

A condução das culturas foi realizada retirando, manualmente, ervas indesejáveis e o capim Braquiária, assim como foi realizado o controle de formigas.

Foi realizado um corte de uniformização nos meses de março e abril de 2014; e regas entre duas e três vezes na semana, somente nos períodos de estiaagem, nos canteiros das duas espécies de leguminosas e nos canteiros das testemunhas.

3.3 Avaliação das Propriedades Físicas

– Determinação de Densidade do Solo (DS), Densidade Aparente (DA): Método do Anel Volumétrico (Anel de Kopeck).

O método de determinação da densidade do solo utilizado foi o Método do Anel Volumétrico (MAV) que consiste na amostragem de solo com estrutura indeformada utilizando anel de aço conhecido por “Anel de Kopeck” de volume conhecido. O anel volumétrico é, então, inserido no solo com o uso de equipamento apropriado. A massa da amostra é obtida por pesagem em balança analítica após remoção da umidade em estufa a 105°C até peso constante. Um ponto relevante em relação a amostragem, consiste na retirada do anel volumétrico, o qual, deve ter seu espaço totalmente preenchido com solo, tomando o cuidado para não compactar a amostra. A técnica detalhada do MAV encontra-se disponível em Embrapa (1997).

3.4 Análises laboratoriais das amostras

As amostras foram analisadas nas dependências dos Laboratórios de Solo e no Laboratório de Forragem do Departamento de Zootecnia do Campus II da Pontifícia Universidade Católica de Goiás. Foi determinado o volume do anel em cm³ utilizado na coleta da amostra. Foi colocado na estufa a 110° C por 24 horas ou até atingir o peso constante, retirado e colocado em dessecador até esfriar. Foi retirado o peso do conjunto e anotado; logo após, foi desprezado a amostra e anotado, novamente, o peso do conjunto.

O cálculo para a determinação da densidade aparente (DA), foi:

$$DS \text{ g / cm}^3 = \frac{A - B}{C}$$

Em que:

A = peso em grama do conjunto pós estufa

B = peso em grama do conjunto sem amostra

C = volume do cilindro em cm³ (97,586 cm³)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 1 apresentou homogeneidade das informações sobre a densidade na profundidade de 0-10 nos canteiros de Estilosantes C. G., Feijão Guandu e a Testemunha. As duas espécies mais a Testemunha apresentaram características semelhantes, quanto a densidade, não diferindo estatisticamente. Na profundidade de 10-20 com relação a presença do Estilosantes C. G., apresentou diferença significativa, entre a testemunha.

Tabela 1. Valores médios de densidade do solo (g/cm^3) em duas profundidades (0-10 e 10-20), na área de estudo.

Tratamentos	DENSIDADES	
	0-10	10-20
Estilosantes Campo Grande	2,17A	2,06 A
Feijão Guandu	2,16A	2,12AB
Testemunha	2,17A	2,13B
Cv%	3,4	3,9

Médias nas colunas seguidas por letras maiúsculas iguais não diferem pelo teste de tukey ($p < 0,05$)

Esses resultados confirmam o potencial do Estilosantes C. G. na descompactação de solos, principalmente em solos arenosos e argilo-arenosos, pois a cultivar é adaptada a solos pobres, como os solos tropicais do Cerrado (EMBRAPA, 2007), o que explica essa diferença significativa apresentada pelo Estilosantes C. G. para este solo, o qual, possui textura argilo-arenosa.

Os valores deste estudo corroboram os de Souza *et al.* (2001) em estudos com leguminosas e compactação do solo, e com os de Alcântara (2010) em estudo sobre a variabilidade espacial de características físicas do solo sob plantio direto. O menor registro de densidade deste solo situa-se em $1,86 \text{ g/cm}^3$. Este valor, se comparado ao valor crítico de Camargo e Alleoni (1997) que é de $1,55 \text{ g/cm}^3$ em solos franco-argilosos e argilosos e, de Reichert *et al.* (2003) que sugeriram valores críticos de densidade para solos de textura muito argilosa; próximo a esses valores e, comparados as observações de Folloni *et al.* (2006) que revelaram a redução no crescimento de leguminosas cultivadas em solo de textura argilosa, sugere que os

valores deste estudo, cujo solo é de textura argilo-arenosa, estão elevados. Os elevados valores de DS indicam uma possível compactação e/ou adensamento do solo, podendo ser um fator limitante ao desenvolvimento e crescimento do sistema radicular das plantas.

Não existe consenso entre os autores em relação ao nível crítico de densidade do solo (valor que indica o grau máximo de compactação). Torres e Saraiva (1999) afirmam que a densidade depende das características físicas do solo, ou seja, ela varia em: solos argilosos de 1,0 a 1,45 g/cm³, em condições de mata e alta compactação, respectivamente; solos arenosos de 1,25 a 1,70 g/cm³ respectivamente. Reichert *et al.* (2003) apontam valores críticos de densidade para solos de textura muito argilosa variando entre 1,25 e 1,30 g/cm³, e De Maria *et al.* (1999) apontam densidade acima de 1,2 g/cm³, em Latossolo Roxo, como restritiva ao desenvolvimento de raízes. Em um estudo com leguminosas, Folloni *et al.* (2006) observaram redução no crescimento de duas espécies cultivadas em solo de textura argilosa.

Segundo Gomes *et al.* (1992), a maior densidade do solo encontrada em profundidade pode ser justificada pela relação com as pressões exercidas das camadas superiores sobre as subjacentes, que reduz os poros, levando a compactação do solo.

CONCLUSÕES

1. A densidade mensurada nos canteiros apresentou baixa variabilidade, sugerindo um solo com características homogêneas na profundidade de 0-10, para os três tratamentos;

2. Das espécies testadas nos canteiros, o *Estilosantes C. G.* foi a que mais influenciou as características físicas do solo, na profundidade de 10-20, em relação à testemunha.

3. Os registros de densidade deste estudo, quando comparados aos valores críticos sugeridos na Literatura, foram considerados elevados;

4. Os elevados valores de DS indicaram uma possível compactação e/ou adensamento do solo; um fator limitante ao desenvolvimento e crescimento do sistema radicular das plantas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCÂNTARA, G. R. **Variabilidade espacial de características físico-químicas e condutividade elétrica aparente do solo sob plantio direto**. 2010, 89 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, 2010.

ALVES, M. C. **Recuperação do subsolo de um latossolo vermelho usado para terrapleno e fundação da usina hidrelétrica de Ilha Solteira**. 2001. 83 f. Tese (Livre Docência) – Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2001.

ALVES, M. C. **Sistemas de rotação de culturas com plantio direto em latossolo roxo: Efeitos nas propriedades físicas e químicas**. 1992. 173 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1992.

BALBINO, L. C.; BRUAND, A.; BROSSARD, M.; GUIMARAES, M. F. Comportement de la phase argileuse lors de la dessiccation dans des Ferralsols microagregés Du Brésil: role de la microstructure ET de la matière organique. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences**, v. 332, p. 673-680, 2001.

BALBINO, L. C.; BRUAND, A.; COUSIN, I.; BROSSARD, M.; QUÉTIN, P.; GRIMALDI, M. Change in the hydraulic properties of a Brazilian clay Ferralsol on clearing for pasture. **Geoderma**, Amsterdam, v. 120, p. 297–307, 2004.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1997.

CARVALHO FILHO, A.; MOTTA, P. E. F.; CHAGAS, C. S.; KER, J. C.; BLANCANE-AUX, P.; CARVALHO JÚNIOR, W.; AMABILE, R. F.; COSTA, L. D.; PEREIRA, N. R. A cobertura pedológica e as interações com as rochas, o relevo e a cobertura vegetal. In: BLANCANE-AUX, P.(Ed.) **Interações ambientais no Cerrado: microbacia piloto de Morrinhos, estado de Goiás, Brasil**. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1998. p. 69-143.

CARVALHO JÚNIOR, I. A.; FONTES, L. E. F.; COSTA, L. M. Modificações causadas pelo uso e a formação de camadas compactadas e, ou adensadas em um Latossolo Vermelho-Escuro textura média, na região do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 3, p. 505-514, 1998.

COSTA, E. A.; GOEDERT, W. J.; SOUSA, D. M. G. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 17, p. 1185-1191, 2006.

DE MARIA, I. C.; CASTRO, O. M.; DIAS, H. S. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 3, p. 703-709, 1999.

DEXTER, A. R. **Soil physical quality: Part II. Friability, tillage, tilth and hard-setting**.

Amsterdam: Geoderma, v. 120, p. 215-225, 2004.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; CELEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B. A. (Eds.). **Defining soil quality for sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 3-21.

EMBRAPA. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. **Adubação verde: estratégia para uma agricultura sustentável**. Seropédica: EMBRAPA, 1997. 20 p.

EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja – região central do Brasil – 2009 e 2010**. Londrina: Embrapa Soja: Embrapa Cerrados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2008. 262 p. (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, n. 13).

EMBRAPA MILHO E SORGO. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Determinação da densidade de solos e de horizontes cascalhentos**. Sete Lagoas: EMBRAPA, 2008. (Comunicado Técnico 154).

EMBRAPA SOLOS. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212 p.

EMBRAPA SOLOS. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2ª ed., Rio de Janeiro, RJ: EMBRAPA, 2006. 306 p.

FAGERIA, N. K. Efeito da calagem na produção de arroz, feijão, milho e soja em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 11, p. 1419-1424, 2001.

FAGERIA, N. K.; GHEYI, H. R. **Efficient crop production**. Campina Grande: UFPB, 1999. 547 p.

FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 3, p. 513-524, 1999.

FOLLONI, J. S. S.; LIMA, S. L. de; 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, p. 49-57, 2006.

GARCIA-PRÉCHAC, F.; ERNEST, O.; SIRI-PRIETO, G.; TERRA, J. A. Integrating no-till into crop-posture rotations uruguay. **Soil and Tillage Research**, v. 77, n. 1, p. 1-13, 2004.

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 14ª ed. Piracicaba: Degaspari, 2000. 477 p.

GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n.

29, n. 2, p. 169-177, 2005.

IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A. Applications of the resistance curve in the control of the physical quality of soils under Grass. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 7, p. 1493-1500, 2000.

INGARAMO, O. E. **Indicadores físicos de la degradación del suelo**. 2003. 298 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Energia na Agricultura) – Universidade da Coruña, La Coruña, 2003.

JUCKSCH, I. **Calagem e dispersão de argila em amostra de um Latossolo Vermelho-Escuro**. 1987. 37p. Tese (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1987.

LEÃO, T. P.; SILVA, A. P.; MACEDO, M. C.; IMHOFF, S.; EUCLIDES, V. P. B. Least water range a potential indicator of changes in near-surface soil physical quality after the conversion of Brazilian Savanna into pasture. **Soil and Tillage Research**, v. 88, n. 12, p. 279-285, 2006.

MACEDO, J. Os solos da região dos Cerrados. In: ALVARES V. V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. (Ed.) **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa, 1996. p.135-155.

MARCHÃO, R. L. **Integração lavoura-pecuária num latossolo do cerrado: impacto na física, matéria orgânica e macrofauna**. 2007. 153 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2007.

MOREIRA, J. A. A.; AGUIAR, R. A.; STONE, L. F.; BERNARDES, T. G. PEREIRA FILHO, I. A.; CRUZ, J. C. Efeito de diferentes plantas de cobertura do solo sobre alguns atributos do solo em sistema de produção orgânico. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Espírito Santo, v. 4, n. 2, p. 3748-3750, 2009.

OLIVEIRA, T. S. **Efeitos dos ciclos de umedecimento e secagem sobre propriedades físicas e químicas de quatro Latossolos brasileiros**. 1992. 104p. Tese (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1992.

OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; RESCK, D. V. S.; CURI, N. Caracterização química e físico hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 327-336, 2004.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental**. São Paulo: Nobel, 1985. 467p.

RABELO, N. A. **Métodos de Análise**. Cadernos Didáticos, 12. Departamento de Zootecnia. Goiânia: Editora UCG, 2000. 88p.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: Conceitos, processos e aplicações**. São Paulo, Manole, 2004. 478p.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Revista Ciência e Ambiente**, Santa Maria, v. 27, n. 2, p. 29-48, 2003.

RESENDE, M.; SANS, L. M.; DURÃES, F. O. Veranico e sua inter-relação com o sistema solo/água/planta/atmosfera nos Cerrados. In: ALVARES V. V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. (Eds.). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa, 1996, p.157-167.

SANO, E. E.; BARCELOS, A. O.; BEZERRA, H. S. Assessing the spatial distribution of cultivated postures in the Brazilian Savana. **Pasturas Tropicales**, Cali, v. 22, n. 3, p. 2-15, 2000.

SEGUY, L.; KLUTHCOUSKI, J.; SILVA, J. G.; BLUMENSCHN, F. N.; DALL'ACQUA, F. M. **Técnicas de preparo do solo: efeitos na fertilidade e na conservação do solo, nas daninhas e na conservação de água**. Goiânia: EMBRAPA, 1984. 26p.

SILVEIRA, P. M.; ZIMMERMANN, F. J. P.; SILVA, S. C.; CUNHA, A. A. Amostragem e variabilidade espacial de características químicas de um latossolo submetido a diferentes sistemas de preparo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Rio de Janeiro, v. 35, n. 10, p. 2057-2064, 2000.

SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M. C.; SCOPEL, E.; COSTA JUNIOR, C.; CERRI, C.C.; BERNOUX, M. Carbono total e atributos químicos com diferentes usos do solo no Cerrado. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringa, v. 31, n. 4, p. 709-717, 2009.

SOUZA Z. M.; SILVA, M. L. S.; GUIMARÃES, D. T. S.; CARVALHO, M. P.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo Vermelho distrófico sob semeadura direta em Selvíria (MS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n.25, p.699-707, 2001.

STENBERG, B. Monitoring soil quality of arable land: Microbiological indicators. *Acta Agriculturae Scandinavica*, Section B. **Soil Plant Science**, Uppsala, v. 49, n. 1, p. 1-24, 1999.

TORRES, E.; SARAIVA, O. F. **Camadas de impedimento mecânico do solo em sistema agrícolas com soja**. Londrina: EMBRAPA-CNPSoja, 1999. 58 p. (Circular Técnica, n. 23).

VEIGA, M.; BRASIL, L.; ROSSO, A. **Degradação do solo e da água**: Manual de uso manejo e conservação do solo e da água. 2 ed. Florianópolis: Secretaria da Agricultura e Abastecimento, 1994, 384 p.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Fotos dos canteiros com os tratamentos da espécie de leguminosas em diferentes perfis.



Estilosantes Campo Grande (*Stylosanthes capitata* e *Stylosanthes macrocephala*)



Estilosantes Campo Grande (*Stylosanthes capitata* e *Stylosanthes macrocephala*)



Estilosantes Campo Grande (*Stylosanthes capitata* e *Stylosanthes macrocephala*)

APÊNDICE B - Fotos dos canteiros com os tratamentos das espécies de leguminosas em dois perfis, mais a testemunha.



Feijão Guandu (*Cajanus cajan*)



Feijão Guandu (*Cajanus cajan*)



Testemunha, Braquiária (*Brachiaria decumbens*)

APÊNDICE C - Fotos das placas de identificação da área de estudo.



Área de estudo com os canteiros das espécies de leguminosas e a Testemunha.



Área de estudo com os canteiros das espécies de leguminosas e a Testemunha, em outro ângulo.



Área de estudo com os canteiros das espécies de leguminosas e a Testemunha, em outro ângulo.

APÊNDICE D – Coleta do solo para a determinação da densidade.



Vala para coleta de amostra do solo com anel de Kopeck para a determinação da densidade do solo (DS) no canteiro de Estilosantes C. G.



Vala para coleta de amostra do solo com anel de Kopeck para a determinação da densidade do solo (DS) no canteiro de Feijão Guandu.



Vala para coleta de amostra do solo com anel de Kopeck para a determinação da densidade do solo (DS) no canteiro da Testemunha.

APÊNDICE E – Outros ângulos das coletas de densidade do solo.



Canteiro de feijão Guandu com vala para coleta do solo com anéis de Kopeck



Ângulo mostrando os anéis de Kopeck em vala na coleta do solo.



Outro ângulo para a visualização dos anéis de kopeck em vala na coleta do solo.

APÊNDICE F – Coleta de solo para a determinação da penetrometria.



Coleta de solo nos canteiros com aparelho Penetrômetro de Impacto.

APÊNDICE G – Vistas de entrada da área de pesquisa.



Vista de entrada para a área do experimento.



Vista de entrada para a área do experimento, em outro ângulo.



Vista lateral da área do experimento.



Vista lateral da área do experimento, em outro ângulo.