

JULIANA DO NASCIMENTO GOMIDES

**ATRIBUTOS FÍSICOS DE LATOSOLO CULTIVADO COM
CANA-DE-AÇÚCAR E ADUBADO COM DEJETOS
DE ANIMAIS DE CRIAÇÃO INTENSIVA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Mestrado, área de concentração em Solos, para a obtenção do título de “Mestre”.

Orientador
Prof. Dr. Elias Nascentes Borges

**UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2009**

JULIANA DO NASCIMENTO GOMIDES

**ATRIBUTOS FÍSICOS DE LATOSOLO CULTIVADO COM
CANA-DE-AÇÚCAR E ADUBADO COM DEJETOS
DE ANIMAIS DE CRIAÇÃO INTENSIVA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Mestrado, área de concentração em Solos, para a obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 20 de abril de 2009.

Prof. Dr. Beno Wendling UFU

Prof.^a Dra. Denise Garcia de Santana UFU

Prof. Dr. Ivoney Gontijo UFES

Prof. Dr. Elias Nascentes Borges
ICIAG-UFU
(Orientador)

**UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2009**

"O esforço constante e determinado quebra a resistência,
e varre todos os obstáculos.

Para realizar grandes conquistas, devemos não apenas agir, mas também sonhar;
não apenas planejar, mas também acreditar."

(*Anatole France*)

A minha querida mãe Maria das Graças do Nascimento Gomides,
meu pai Luiz Gonzaga Gomides (*in memorian*) que não está mais
conosco para presenciar mais uma conquista na minha vida, e aos meus
irmãos, pelo amor, estímulo, força, apoio, carinho e compreensão,

DEDICO.

*Agradeço
A Deus, pela sabedoria.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, saúde, oportunidade de poder estudar e lutar, pelos meus ideais, mesmo nos momentos mais difíceis da minha vida.

As pessoas mais importantes da minha vida: meus pais e irmãos, que com muito esforço, deram-me o maior presente: amor, dedicação e apoio para que eu pudesse chegar até aqui.

Ao meu namorado Ramiro Lourenço de Souza Júnior pela força, apoio, carinho, paciência e ajudas no decorrer do trabalho.

À FAPEMIG, pela concessão de bolsa de estudos que me permitiu dedicação exclusiva na realização do mestrado.

Ao Prof. Elias Nascentes Borges, pela oportunidade, orientação, confiança, pelos ensinamentos, pelos conselhos, amizade, incentivo e carinho.

À Prof.^a Regina Maria Quintão Lana, pela colaboração, atenção e amizade.

À CMAA – Cia Mineira de Açúcar e Álcool do Triângulo Mineiro Ltda, pelo apoio financeiro e estrutural na montagem e condução do experimento.

À Valoriza Fertilizantes e Adubos Agronelli pelo doação de fertilizantes.

Aos estagiários e funcionários Marco Aurélio e Sr. Wilson (LAMAS), pelo carinho, amizade e palavras de conforto e de incentivo durante os momentos mais difíceis.

Aos docentes e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia do Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG), da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), em especial à Cida e ao Eduardo pelo carinho e recepção sempre amistosa.

À Prof.^a Denise Garcia de Santana, pela atenção e colaboração nas análises estatísticas.

A todos os meus amigos, e colegas de curso pela ajuda, estímulo, carinho, boa convivência e amizade, em especial à Patrícia, Letícia, Natalia, William Bilibio, Rélia, Isabel Cristina, Dalcimar, Leomar, Reinaldo Adriano, Ricardo, Paulo Rabelo, Pablo, Gustavo Felipe, professor Dr.Beno Wendling e o prof. Dr. Gilberto Correa.

A todos que contribuíram para a realização deste trabalho.

MUITO OBRIGADA!

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	i
LISTA DE FIGURAS.....	iii
RESUMO.....	iv
ABSTRACT.....	v
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1 - A cultura da cana-de-açúcar, condições climáticas e plantio.....	3
2.2 - A cultura da cana-de-açúcar e o sistema solo-planta.....	4
2.3 - Adubação orgânica e/ou mineral para a cana-de-açúcar.....	5
2.4 - Os dejetos como poluidores ao meio ambiente.....	8
2.5 - Vantagens do uso de dejetos como fertilizantes.....	9
2.6 - Uso de gesso agrícola na cana-de-açúcar.....	12
2.7 - Uso do solo de cerrado e as propriedades físicas do solo.....	14
2.7.1 - Textura do solo e a susceptibilidade a compactação.....	15
2.7.2 - Densidade do solo.....	16
2.7.3 – Estabilidade de agregados.....	17
2.7.4 - Porosidade do solo.....	18
2.7.5 – Matéria Orgânica do Solo.....	19
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	21
3.1 - Localização da área do experimento.....	21
3.2 - Clima da região.....	21
3.3 - Caracterização físico-química do solo na área experimental.....	23
3.4 - Caracterização do resíduo utilizado.....	24
3.5 - Adubos e delineamento estatístico.....	27
3.6 - Coleta de amostras e análises realizadas.....	29
3.7 - Análises laboratoriais.....	30
3.7.1 - Análise granulométrica.....	30
3.7.2 - Argila dispersa em água.....	32
3.7.3 - Grau de floculação.....	32

(...Continua...)

(...Continua...)	
3.7.4 - Densidade do solo.....	32
3.7.5 - Densidade de partículas.....	34
3.7.6 - Estabilidade de agregados em água por via úmida.....	35
3.7.7 - Macroporosidade, Micro e Porosidade total do solo.....	36
3.7.8 - Matéria Orgânica do solo.....	39
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
4.1 - Argila dispersa em água.....	41
4.2 - Grau de floculação.....	45
4.3 - Densidade do solo.....	47
4.4 - Estabilidade de agregados em água por via úmida.....	50
4.5 - Macroporosidade, Micro e Porosidade total do solo.....	54
4.5.1 - Macroporosidade do solo.....	54
4.5.2 - Microporosidade do solo.....	58
4.5.3 - Porosidade total do solo.....	59
4.6 - Matéria Orgânica do solo.....	63
5 CONCLUSÕES.....	66
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67
ANEXOS.....	74

LISTA DE TABELAS

		Página
TABELA		
1	Caracterização física do solo da área experimental, amostrado nas profundidades de 0-25 e 25-50 cm, em abril de 2007.....	23
2	Caracterização química do solo da área experimental, amostrado nas profundidades de 0-25 e 25-50 cm, em fevereiro de 2007.....	23
3	Caracterização química e físico-química da cama de frango e de peru utilizada no experimento em Uberlândia, MG.....	25
4	Caracterização química e físico-química do esterco bovino e fertilizante orgânico (Compostado) utilizada no experimento em Uberlândia, MG.....	26
5	Quantidade de adubos orgânico e mineral utilizados como tratamentos na área experimental.....	28
6	Análise de variância do experimento.....	29
7	Valores médios de Argila dispersa em água do solo cultivado com cana-de-açúcar, submetido a diferentes adubos com e sem gesso agrícola, profundidades e períodos distintos de amostragens.....	42
8	Valores médios de Grau de floculação do solo cultivado com cana-de-açúcar, submetido a diferentes adubos com e sem gesso agrícola, em diferentes profundidades no período chuvoso.....	46
9	Valores médios de Grau de floculação do solo cultivado com cana-de-açúcar, submetido a diferentes adubos com e sem gesso agrícola, em diferentes profundidades no período seco....	47
10	Valores médios de Densidade do solo cultivado com cana-de-açúcar, submetido a diferentes adubos com e sem gesso agrícola, em diferentes profundidades no período chuvoso.....	48
11	Valores médios de Densidade do solo cultivado com cana-de-açúcar, submetido a diferentes adubos com e sem gesso agrícola, em diferentes profundidades no período seco.....	50
12	Valores médios de diâmetro médio geométrico de agregados do solo cultivado com cana-de-açúcar, submetido a diferentes adubos com e sem gesso agrícola, em diferentes profundidades no período chuvoso.....	51
13	Valores médios de diâmetro médio geométrico de agregados do solo cultivado com cana-de-açúcar, submetido a diferentes adubos com e sem gesso agrícola, em diferentes profundidades no período seco.....	52

(...Continua...)

(...Continua...)

14	Valores médios de Macroporosidade do solo cultivado com cana-de-açúcar, submetido a diferentes adubos com e sem gesso agrícola, em diferentes profundidades no período chuvoso.....	55
15	Valores médios de Macroporosidade do solo cultivado com cana-de-açúcar, submetido a diferentes adubos com e sem gesso agrícola, em diferentes profundidades no período seco...	56
16	Valores médios de Microporosidade do solo cultivado com cana-de-açúcar, submetido a diferentes adubos com e sem gesso agrícola, em diferentes profundidades e períodos distintos de amostragens.....	58
17	Valores médios de Porosidade total do solo cultivado com cana-de-açúcar, submetido a diferentes adubos com e sem gesso agrícola, em diferentes profundidades no período chuvoso.....	60
18	Valores médios de Porosidade total do solo cultivado com cana-de-açúcar, submetido a diferentes adubos com e sem gesso agrícola, em diferentes profundidades no período seco...	62
19	Valores médios de Matéria Orgânica do solo cultivado com cana-de-açúcar, submetido a diferentes adubos com e sem gesso agrícola, profundidades e períodos distintos de amostragens.....	64

LISTA DE FIGURAS

FIGURA		Página
1	Temperatura média mensal no período de janeiro a dezembro de 2007 e 2008, para a região de Uberlândia, MG.....	22
2	Distribuição da precipitação pluviométrica média mensal no período de janeiro a dezembro de 2007 e 2008, para a região de Uberlândia, MG.....	22
3	Área experimental com plantio de cana-de-açúcar.....	28
4	Triângulo de classe textural de solos.....	31
5	Amostrador de Uhland utilizado para coletas de amostras indeformadas.....	33
6	Aparelho de Yoder, utilizado para a determinação da estabilidade dos agregados por via úmida.....	36
7	Panela de tensão a 60 cm de coluna d'água, utilizado para determinação de macroporosidade do solo.....	38
8	Amostragem no período chuvoso, concentração de raízes de cana-de-açúcar nos primeiros 25 cm de profundidade.....	40
9	Amostragem no período seco, concentração de raízes de cana-de-açúcar até 50 cm de profundidade.....	40

RESUMO

GOMIDES, Juliana do Nascimento. **Atributos físicos de Latossolo cultivado com cana-de-açúcar e adubado com dejetos de animais de criação intensiva.** 2009. 84f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/ Solos) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.¹

A cultura da cana-de-açúcar encontra-se em forte expansão para a região do cerrado, necessitando de técnicas de manejo, visando à qualidade física do solo. O uso de dejetos de animais de criação intensiva constitui uma alternativa para reduzir a degradação física, baixar custo com adubações químicas e, sobretudo possibilitar uso sustentável dos dejetos que apresentam grande efeito poluidor. Assim, esta pesquisa teve como objetivo estudar o uso de dejetos “in natura” ou compostado como uma alternativa para minimizar os impactos negativos no solo, advindos do cultivo da cana, avaliando sua influência na estruturação do solo e em outros atributos físicos. A área da pesquisa localizou-se na Fazenda da Cia Mineira de Açúcar e Álcool do Triângulo Mineiro Ltda, município de Uberlândia–MG. O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC), em esquema fatorial de parcelas subdivididas no espaço, em 5x2x2, correspondendo a cinco tipos de adubo: cama de frango (CF), cama de peru (CP), adubo compostado (AC), esterco bovino (EB) e a testemunha, constituída por fertilizante mineral para a cultura, o MAP, todos combinados com a presença e/ou a ausência de gesso agrícola, previamente misturado ao adubo e aplicado no sulco de plantio da cana-de-açúcar; analisado em duas profundidades e em duas épocas distintas do ano, período das chuvas e seco. Amostras de solo retiradas em janeiro e em julho, nas profundidades de 0-25 cm e 25-50 cm, foram avaliadas em argila dispersa em água, grau de flocação, estabilidade de agregados via úmida, avaliada através do diâmetro médio geométrico (DMG), matéria orgânica do solo (MOS), densidade do solo, microporosidade, macroporosidade e porosidade total, conforme metodologia descrita pela Embrapa (1997). Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e às médias dos fatores comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 0,05 de significância. Observou-se que os diferentes tipos de dejetos influenciaram de modo distinto os atributos físicos do solo. A presença do gesso agrícola, misturado aos diferentes tipos de adubos orgânicos, possibilitou uma maior eficiência destes na recuperação da maioria dos atributos físicos analisados, sendo o maior efeito para as profundidades de 25-50 cm no solo. Entre os tipos de adubos orgânicos utilizados, o esterco bovino misturado com e/ou sem gesso foi que mais contribuiu para aumentar a porosidade total e reduzir a densidade do solo. O adubo químico influenciou negativamente a quantidade de argila dispersa em água e consequentemente redução do grau de flocação do solo. Mas para os demais adubos analisados, a argila dispersa em água apresentou reduções dos valores no período seco. Para o DMG os maiores valores encontrados foram para o período chuvoso, a presença de gesso misturado aos adubos favoreceu a formação de agregados maiores na profundidade de 25-50 cm. A MOS apresentou diferença significativa para os diferentes adubos apenas no período chuvoso. O comportamento físico do solo, para os atributos avaliados, variou de modo distinto entre o período chuvoso e o período seco do ano, refletindo a importância da umidade no solo.

Palavras-chave: *Saccharum officinarum* (L.), resíduos orgânicos, atributos físicos.

¹Orientador: Elias Nascentes Borges – UFU.

ABSTRACT

GOMIDES, Juliana do Nascimento. **Physical attributes of a Latosol cultivated with sugarcane and fertilized with manure from intensive animal husbandry.** 2009. 84f. Dissertation (Master's Degree in Agriculture/Soils) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.¹

The cultivation of sugarcane is in strong expansion in the Cerrado region, requiring management techniques to maintain the soil physical quality. The use of animal's manure from intensive husbandry constitutes an alternative to reduce the physical degradation of the poor soil use due to lower cost with chemical fertilizations and, mostly, making possible the sustainable use of manures that present great polluting potential. Thus, this research analyzed the use of manures "in nature" or composted as alternatives to minimize the negative impacts in the soil, from sugarcane cultivation, evaluating its effect in the soil's structure and other physical attributes. The area of the research was located in the Farm of Cia Mineira of Sugar and Alcohol, county of Uberlândia-MG. The experimental design was randomized blocks, in a 5x2x2 factorial, with split plots in space, corresponding to five types of fertilization: chicken manure, turkey manure, cattle manure, organic compost and the control, constituted of mineral fertilizer for the sugarcane plants, all of them combined, or not, with gypsum, previously mixed to the fertilizers and applied in the furrow; at two depths and two distinct times of the year, at the rainy and dry seasons. Soil samples were collected in January and July, in the depths of 0-25 cm and 25-50 cm, and were evaluated for dispersed clay in water, flocculation degree, aggregate stability in water, geometric average diameter, soil organic matter, soil density, microporosity, macroporosity and total porosity according of methodology described by Embrapa (1997). The data were submitted to the analysis of variance and the averages of the factors compared by the Tukey test at 0.05 of significance. It was observed that the different types of manures affected the soil physical attributes in distinct ways. The presence of gypsum, mixed to the different types of organic fertilizer, made possible a greater efficiency of these in the recovery of the majority of the analyzed physical attributes, and the greatest effect was observed for the depth of 25-50 cm in the soil. Among the types of organic fertilizer used, cattle manure mixed with or without gypsum was the one contributing the most to increase total porosity and to reduce soil density. The chemical fertilizer negatively affected dispersed clay in water and, consequently, the reduction of the soil flocculation degree. However, for the other fertilizers analyzed, the dispersed clay in water showed value reductions in the dry season, with greater movement of the clay in soil columns. The greatest values of geometric average diameter and soil organic matter were observed in the rainy season, while the presence of gypsum mixed to fertilizer favored the formation of greater aggregates in the depth of 25-50 cm. The soil physical properties, for the attributes evaluated, varied distinctly between the rainy and the dry period of the year, reflecting the importance of moisture in the soil.

Key words: *Saccharum officinarum* (L.), organic residues, physical attributes.

¹ Supervisor: Elias Nascentes Borges – UFU.

1 INTRODUÇÃO

A crescente expansão dos rebanhos bovinos, granjas avícolas dentre outros animais, para produção de carne destinada ao consumo do mercado brasileiro, bem como para exportação, traz consigo aumento no volume de dejetos produzidos por esses animais. Na região de cerrado do Triângulo Mineiro, nota-se crescimento na produção de grandes quantidades de resíduos, considerados de alto potencial poluidor, com isso, encontrar uma maneira adequada de manejo econômico e sustentável, de modo a minimizar os impactos destes na saúde humana e animal, no meio ambiente e nos custos de produção é um dos desafios da pesquisa.

A sustentabilidade, tanto dos sistemas de criação intensiva quanto da agricultura, para produção de alimentos e energia, necessita de tecnologias que reduzam os riscos ambientais de modo a contribuir para melhor qualidade de vida, tanto dos produtores diretamente envolvidos, como de toda a sociedade.

Umas das preocupações atuais, relacionada com o meio ambiente, diz respeito à disposição e utilização dos dejetos produzidos em escala, os quais apresentam, após passagem pelo trato intestinal dos animais, carga nutricional e microbiológica capazes de provocarem graves problemas de contaminação ambiental, seja pela percolação do chorume, líquido de cor escura com alta carga poluidora, seja pela proliferação de insetos e animais nocivos que se formam onde ocorre o acúmulo de dejetos orgânicos, os quais podem atingir mananciais, inclusive, o lençol subterrâneo.

Por outro lado, com a intervenção da pesquisa, os dejetos gerados nas atividades ligadas à produção animal, que recebem ração balanceada, podem sair da condição de poluidora do meio ambiente para condição de insumos básicos de alto valor agregado para a agricultura, pois, além da ação fertilizante que possuem, apresentam efeitos condicionadores e reparadores de atributos físicos de solos, podendo significar, então, fator de agregação de valor tanto para a atividade de criação intensiva como para a agricultura.

O aproveitamento de dejetos de animais como fertilizante nas áreas de produção é uma alternativa de adubação capaz de reduzir os custos da implantação de lavouras e também repor os nutrientes. Mas, para que a substituição dos adubos químicos seja realizada com segurança, sem risco poluidor do meio ambiente e ainda, com benefícios na sua economia, para o solo e a planta, tais informações como quantidades e

periodicidade das aplicações, dejetos orgânicos com ou sem enriquecimento complementar, agregação a outras misturas e/ou compostagens devem ser adequadamente definidos para cada tipo específico de solo e clima.

A conscientização de que o uso adequado de dejetos produzidos pelas diferentes atividades agropecuárias é de vital importância para a saúde pública e controle da degradação e poluição ambiental. Tal fato tem levado a pesquisa a desenvolver sistemas de uso racional, principalmente na agricultura e geração de energia, que combinem eficiência, baixos custos e, se possível, recuperação de extensas áreas degradadas ou em risco de degradação em função das peculiaridades de manejo exigidas por determinada cultura.

Neste sentido, o uso de dejetos de aves e bovinos de criação intensiva, na cultura da cana-de-açúcar, é uma alternativa viável, pois, além da rápida expansão desta cultura para a região de cerrado, caracterizado por solos ácidos e pobres em fertilidade e de baixa resistência estrutural, esta monocultura demanda grandes áreas com solo bem estruturado.

Com isso, o uso de dejetos em escala poderá favorecer a melhoria da estrutura física dos solos, fornecer nutrientes necessários à planta, possibilitando dar um destino adequado para os dejetos, saindo da condição de poluentes para fertilizantes do solo.

O uso dos dejetos “in natura” ou compostado na cultura da cana é uma alternativa para minimizar os impactos causados por estes dejetos, até recentemente despejados ao acaso na natureza. A compostagem em mistura com outros resíduos orgânicos e mesmo com adubos químicos, visando ao enriquecimento nutricional, tem sido pesquisada e indicada, contudo a maior dificuldade para o pequeno e médio produtor que produzem estes dejetos é a disponibilidade de tempo e recursos para adquirir os insumos complementares para esta mistura.

Esta pesquisa teve como objetivo avaliar os atributos físicos de Latossolo Vermelho distrófico cultivado com cana-de-açúcar na região de Uberlândia-MG, quando adubado com dejetos de animais de criação intensiva, na presença e ausência de gesso agrícola, em duas profundidades e épocas distintas do ano (Período chuvoso e seco), visando dar uso sustentável às excreções oriundas da criação confinada e intensiva de animais portadores de elevada carga poluente ao meio ambiente.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 - A cultura da cana-de-açúcar, condições climáticas e plantio

A cana-de-açúcar pertence à família Gramineae (Poaceae) e gênero *Saccharum*, sendo este gênero composto, principalmente, pelas espécies: *Saccharum officinarum* (L.) que é conhecida por cana-nobre, por apresentar elevado teor de açúcar (SEGATO et al., 2006). Foi a primeira cultura introduzida no país, cultivada a mais de quatro séculos no litoral do Nordeste. Atualmente, grandes áreas são utilizadas para produção do álcool, disseminando-se por quase todos estados brasileiros, estabelecendo-se nos mais diferentes tipos de solos. Estimativa mais recente do IBGE (2009) indica que a produção brasileira de cana-de-açúcar, em 2008, foi de 591.431.766 toneladas.

Atualmente, a cana-de-açúcar é cultivada em todas as regiões tropicais e subtropicais, onde o clima apresenta duas estações distintas, uma quente e uma úmida, para proporcionar a germinação, perfilhamento e desenvolvimento vegetativo, esta cultura se adapta às condições de alta intensidade luminosa, altas temperaturas e relativa escassez de água, uma vez que somente 30% de seu peso é representado pela matéria seca e, 70% pela água, na dependência do estádio fenológico (SEGATO et al., 2006).

O ciclo da cana a ser plantada leva em consideração as condições de clima, efetuando-se o plantio predominantemente em duas épocas distintas:

- **Primeira época:** planta-se de setembro a novembro, no ínicio da estação chuvosa e quente, nestas condições, a cana-de-açúcar apresenta ciclo de duração média de 12 meses denominada de “cana-de-anjo”.

- **Segunda época:** o plantio é realizado no período de janeiro a início de abril, no meio da estação chuvosa e quente e em direção ao outono. Alguns produtores ou unidades prolongam o plantio até maio. A cana-de-açúcar, nestas condições apresenta ciclo variável de 14 a 21 meses, conforme a data do plantio e a época de maturação da variedade utilizada, recebendo a denominação de “cana-de-anjo e meio”.

Outro fator a ser levado em consideração no momento da implantação do canavial é a variedade a ser plantada, tornando-se necessário observar as características das mesmas e adequá-las de acordo com a qualidade do ambiente, pois caso contrário, possivelmente haverá comprometimento dos potenciais produtivo e qualitativo.

Neste sentido, precisam-se conhecer dois aspectos, o ambiente de produção, bem como as condições climáticas prevalecentes na região em questão e o comportamento de cada variedade, levando-se em consideração dentre outros fatores, a textura do solo, fertilidade, a CTC do horizonte A, a retenção de cátions e o teor de água do solo (SEGATO et al., 2006).

2.2 – A cultura da cana-de-açúcar e o sistema solo-planta

A melhoria e manutenção de propriedades físicas, químicas e microbiológicas do solo são necessárias para um adequado crescimento, produção e qualidade da cana-de-açúcar. Para o cultivo da cana não há a necessidade de um tipo específico de solo e, portanto pode ser cultivada em tipos de solos diversos variando de solos arenosos a argilosos (BITTAR FILHO, 2008).

O mesmo autor ainda relata que problemas de compactação do solo são comuns em áreas de cultivo de cana-de-açúcar devido ao manejo intensivo do solo e a utilização de máquinas e equipamentos mais pesados. Essas condições exigem, portanto, o monitoramento das propriedades físicas do solo para que condições físicas do solo inadequadas, tais como valores altos de densidade do solo (Ds) e resistência do solo a penetração e baixos valores de porosidade total (Pt), não se tornem um fator limitante ao desenvolvimento e produtividade da cultura.

Outro sério problema é a perda de solo por erosão, que depende do tipo de cultura, práticas agrícolas, tipo de solo e regime de chuvas. A cana-de-açúcar no Brasil é reconhecida por apresentar, relativamente, pequena perda do solo por erosão comparado com a soja, algodão e milho. Rosseto (2004) demonstrou que a perda de solo, sob soja é cerca de 62% maior do que quando se utiliza cana-de-açúcar.

O processo erosivo é a maior causa da degradação das terras agrícolas. A aplicação de técnicas de conservação do solo visa minimizar a perda de solo. Um bom projeto de utilização agrícola de terras deve considerar o tipo de solo (textura), declividade, regime de chuva e a cultura a ser instalada (SEGATO et al., 2006).

A cana-de-açúcar quando bem manejada é uma cultura que protege o solo contra a erosão, principalmente após o "fechamento". Dependendo do tipo de solo e da topografia em solos de textura arenosa, a época e o sistema de plantio apresentam influência no assoreamento dos sulcos (erosão dentro dos sulcos), ao qual a cana é bastante suscetível (ORLANDO FILHO et al., 1994).

Segato et al. (2006) afirmam que informações com relação ao sistema solo-planta-raízes são necessárias, pois fornecem os subsídios no sentido de tentar evitar problemas enfatizando que:

- cerca de 70 a 80% das raízes da cana-de-açúcar localizam-se nas camadas superficiais do solo, até 40 a 45cm de profundidade, sendo que de 0 a 20 cm de profundidade encontram-se 62% destas raízes (Van Dillewijn citado por SEGATO et al., 2006);
- o solo arenoso é pouco compactado, no entanto a compactação assume níveis mais elevados à medida que os teores de argila aumentam;
- nos latossolos, quando submetidos ao tráfego e trabalho com máquinas e equipamentos pesados no preparo e colheita, as densidades de compactação podem alcançar valores acima de $1,45 \text{ g cm}^{-3}$;
- as pesquisas revelam que o desempenho das raízes da cana-de-açúcar passa a ser prejudicado à medida que os índices de densidade do solo superam $1,2 \text{ g cm}^{-3}$;
- para a cana-de-açúcar, pesquisas mostram que a proporção de 10% de macroporos é considerada como limite mínimo para sobrevivência das próprias raízes e para contribuir no seu trabalho de suprir a parte aérea da planta; as condições tornam-se mais favoráveis quando o solo conta com 15 a 20% de macroporos;

2.3 - Adubação orgânica e/ou mineral para a cana-de-açúcar

O intenso preparo inicial do solo com a utilização de arados, grades pesadas, subsoladores e a sulcação profunda para o plantio da cana-de-açúcar, são práticas impactantes na fase inicial do estabelecimento da cultura, pois afetam diretamente a estrutura do solo e a estabilidade de agregados (SOUZA; ALVES, 2003).

Após o preparo do solo para o plantio da cana, faz-se a sulcação e durante essa operação, a aplicação do adubo é feita no sulco de plantio, no local mais próximo do sistema radicular da cana que irá brotar.

Por isso a adubação, assim como as demais práticas agrícolas, deve levar em consideração a sustentabilidade do processo como um todo e a conservação do ambiente. A cana-de-açúcar quando bem manejada é uma cultura conservacionista. Pois após, o intenso preparo inicial do solo, ao longo do ciclo da cultura existe pouca

movimentação de solo, uma vez que a cana permanece no campo por, no mínimo, 5 anos antes da reforma do canavial (SEGATO et al., 2006).

O autor também afirma que a adubação visa completar a necessidade em nutrientes, mas, quando se pensa em adubação (uso de fertilizantes químicos ou orgânicos), a maior preocupação ocorre em relação às dosagens e aos custos. No entanto, o modo de aplicação do adubo e a época de aplicação, podem ser determinantes do sucesso das adubações para o aumento da produtividade.

Com a busca pela melhoria da qualidade do solo e a necessidade de reduzir custos, tem aumentado o uso de compostos e outros tipos de adubos orgânicos na produção agrícola. A prática de se adicionar adubos orgânicos ao solo é, portanto, uma forma de melhorar a retenção de água no solo, controlar a temperatura, manter ou melhorar suas propriedades físicas, químicas e microbiológicas, aumentando o teor de matéria orgânica do solo e adicionando nutrientes ao solo, o que pode resultar em uma economia de fertilizantes minerais (BITTAR FILHO, 2008).

Os dejetos orgânicos originados da criação intensiva de animais podem desempenhar importante papel na recuperação de solos de cerrado degradados fisicamente. Estes resíduos promovem melhoria na estruturação do solo, aumento na atividade microbiana, fornecimento de nutrientes, aumento na produtividade das culturas e ainda mitigar riscos de contaminações de meio ambiente quando inadequadamente manuseados (SOUZA; ALVES, 2003).

A adubação orgânica, embora com limitações de aplicação e de disponibilidade de material, apresenta inúmeras vantagens sobre a adubação química, porque permite melhorar os atributos químicos, físicos e biológicos do solo, fazendo uso dos resíduos produzidos na propriedade rural em vez de serem descartados, poluindo o meio ambiente. Por isso, com o uso racional de dejetos, eles podem sair da condição de poluidores do meio ambiente para condicionadores de solo, fornecendo nutrientes às plantas e reduzindo seu descarte no meio ambiente de forma inadequada.

Segundo Menezes e colaboradores (2004), a cama de aves é um composto orgânico que apresenta uma constituição variada de nutrientes em função do tipo do material utilizado para forração, formulado da ração, de modo geral, apresenta valores de relação C/N inferiores a 25/1, favorecendo a decomposição e liberação de nutrientes ao solo. As camas provenientes da criação de perus, devido ao maior tempo de alojamento e à maior exigência nutricional dessas aves em relação aos frangos, apresentam teores mais elevados de nutrientes. Isso leva à necessidade de análises

químicas e físico-químicas dos resíduos, a fim de garantir a aplicação de dosagens adequadas às necessidades nutricionais das culturas e também de evitar efeitos prejudiciais às mesmas e ao solo, decorrentes da aplicação de forma excessiva.

Embora algumas pesquisas tenham sido realizadas, não se têm definidas as dosagens adequadas e a frequência com que estes materiais devem ser acondicionados aos diferentes tipos de solo, de forma a proporcionar um fornecimento adequado de nutrientes ao desenvolvimento da planta, evitando desequilíbrios nutricionais e a contaminação do solo. Tais quantidades variam com o tipo de solo, natureza e composição dos resíduos, condições climáticas e a exigência da espécie vegetal a ser cultivada (DEMATTÉ, 2005).

A adubação de plantio da cana-de-açúcar exige baixas quantidades de nitrogênio e altas quantidades de fósforo e potássio no sulco. A falta de qualquer macro ou micronutriente no solo ou no adubo faz com que haja uma redução na produtividade da cana e, consequentemente, na de açúcar. Quando a deficiência nutricional é pronunciada, a planta revela sintomas típicos. Em muitos solos das áreas de expansão da cana-de-açúcar o fósforo é o nutriente mais limitante. Nestes casos, a cana-planta pode chegar a receber até 180 kg P₂O₅ ha⁻¹. Enquanto alguns pesquisadores sugerem a aplicação de 30 a 60 kg P₂O₅ ha⁻¹ nas soqueiras (ORLANDO FILHO et al., 1994).

Anjos e colaboradores (2007) relatam que na região Sul de Minas Gerais, dentre os adubos orgânicos disponíveis na região e que podem ser usados na cultura canavieira, barateando os custos de produção, destacam-se o esterco de curral e o de galinha, aplicados no sulco de plantio.

De acordo com resultado de trabalho do mesmo autor, verificou-se a viável substituição da adubação química pela orgânica, sem que haja perda da qualidade e produtividade da matéria-prima na cana-de-açúcar.

Scherer (2001), analisando a resposta da cultura de milho a doses combinadas de superfosfato triplo e cama de frango, observou que este esterco pode substituir o adubo mineral como fonte de fósforo. Considerando a utilização de adubos minerais (uréia), a eficiência de N do esterco de ave obtida neste trabalho foi adequada na cultura do trigo. Contudo, a quantidade de esterco necessária para fornecer o mesmo teor de N que o adubo mineral fazem com que essa prática, do ponto de vista econômico e operacional, seja menos viável no caso de milho.

Dessa forma, o uso de dejetos deve ser visto como um complemento à adubação das culturas, podendo contribuir para a recuperação de áreas degradadas, redução da

utilização de fertilizantes químicos e o custo da adubação, pois a maior disponibilidade de nutrientes no solo decorrente da aplicação desse resíduo pode levar a um melhor desenvolvimento da planta e consequentemente, a um aumento da produtividade da cultura (BITTAR FILHO, 2008).

2.4 - Os dejetos como poluidores ao meio ambiente

O avanço tecnológico alcançado nos últimos anos, especialmente no cerrado brasileiro, caracterizou-se pela implantação de sistemas de confinamento de animais intensivos, com produção de grande volume de resíduos orgânicos (dejeto de suínos, aves e resíduos orgânicos industriais) por unidade de área. Para que estes resíduos orgânicos não sejam descartados em rios, lagos, nascentes, solos e em outros recursos naturais, sem critério, há a necessidade de planejamento de utilização viável destes resíduos, diminuindo o potencial poluidor ambiental. Para que isto seja possível é necessário apresentar um programa de uso que seja compatível com a realidade econômica da atividade e do criador/agricultor (MARRIEL et al., 1987).

A intensificação da produção, principalmente para a exportação de carne industrializada trouxe como consequência o aumento do volume de dejetos produzidos. Parte destes é lançada em cursos d'água, estocados e/ou descartados a céu aberto, sem tratamento prévio, transformando-se em fonte poluidora, constituindo-se em fator de risco para a saúde humana e animal (MATOS et al., 1998).

A falta de pesquisas para destinação adequada dos dejetos tem provocado danos incalculáveis ao meio ambiente e, associados ao problema da matéria orgânica no solo, estão as altas concentrações de nutrientes, nitrogênio e fósforo que, se adequadamente pesquisados, poderão reduzir os custos da produção agropecuária, e recuperar a degradação dos solos advindos do uso intensivo (OLIVEIRA et al., 1986).

Oliveira e colaboradores (1986) relatam também que o uso intensivo de dejetos no solo tem contribuído para a contaminação dos cursos d'água por nitrato e fósforo, levando à eutrofização dos mesmos. Além disso, pode ocorrer o acúmulo de elementos nas plantas, levando a sérios riscos de consumo de alimentos com alta concentração de metais pesados.

Barracho Júnior (1995) ressalta que, a partir da constatação de danos ambientais advindos da produção de dejetos em outros países e em alguns estados brasileiros, foi criada a Lei 6.938 de 31/08/1981, que tem como intuito principal ação à prevenção de

possíveis danos ao ambiente, decorrente da necessidade de licenciamento ambiental para o desenvolvimento das atividades consideradas potencialmente poluidoras.

Baseado nesta política o autor afirma que o Conselho Estadual de Política Ambiental de Minas Gerais (COPAM) estabeleceu que as atividades da avicultura e suinocultura devessem ser submetidas ao processo ordinário de licenciamento ambiental, junto ao COPAM, visando à adoção de medidas de controle ambiental que eliminem ou minimizem os impactos ambientais causados especificamente por este tipo de atividade, estabelecendo um prazo de 120 dias para que seja encerrado o lançamento de efluentes gerados na atividade fora dos padrões estabelecidos pelas normativas do COPAM (BARRACHO JÚNIOR, 1995).

Santos (1997) afirma que a cama da avicultura foi muito utilizada na alimentação bovina por ser fonte barata de nitrogênio e outros proteicos, fornecida o ano todo e, principalmente, no período da seca, associada à cana-de-açúcar. Apesar do valor nutritivo e, ainda, representar grande economia para o produtor, a qualidade microbiológica da cama fornecida aos animais pode provocar vários distúrbios, quando não a morte dos ruminantes alimentados com cama de frango contaminada, pois, além da transmissão de doenças e intoxicações nos animais, a presença de patógenos, metais pesados como cobre, chumbo, zinco, enxofre, e outros são comuns, motivando assim sua proibição através de uma portaria do governo federal.

Segundo Perdomo (1997), a partir desta portaria fica todo produtor/criador obrigado a estabelecer um plano racional de controle dos dejetos, de modo a evitar os problemas de poluição. Pela legislação ambiental vigente, o produtor pode ser responsabilizado criminalmente por eventuais danos causados ao meio ambiente e a saúde dos homens e animais.

Por isso os estudos sobre os efeitos desses resíduos no solo e no ambiente, como um todo, devem ser priorizados, levando em conta não só os aspectos benéficos, mas também o potencial poluidor desses resíduos, bem como as possibilidades de uso dos mesmos na recuperação de áreas degradadas e no fornecimento de nutrientes às plantas.

2.5 - Vantagens do uso de dejetos como fertilizantes

O aproveitamento integral e racional de todos os recursos disponíveis dentro da propriedade rural, com a introdução de novos componentes tecnológicos, aumenta a estabilidade dos sistemas de produção existentes, bem como maximiza a eficiência dos

mesmos, reduzindo custos da implantação da lavoura e melhorando a produtividade (EMBRAPA, 2008).

Por isso, alguns pesquisadores têm pesquisado e avaliado a influência de dejetos e a adubação com cama-de-frango nos atributos físicos e químicos do solo (MENEZES et al., 2004). O uso de áreas manejadas para produção de alimentos constitui ambiente favorável para disposição desses resíduos, haja vista que o manejo facilita a decomposição e uma interação mais íntima com o solo, propiciando a liberação de nutrientes essenciais e de componentes importantes na recomposição da qualidade ambiental do solo. Assim, o uso agrícola desses rejeitos orgânicos, constitui-se de uma alternativa necessária não só no aspecto ambiental, mas também para garantir uma reciclagem de nutrientes, cada vez mais escassos no futuro (BATAGLIA et al., 1983).

A adubação orgânica compreende o uso de resíduos orgânicos de origem animal (cama-de-frango, cama-de-peru, esterco bovino), vegetal (adubação verde, restos culturais) e agroindustrial (slop, tortas e bagaços), com a finalidade de recuperar fisicamente o solo, aumentar a atividade microbiana, fornecer nutrientes e consequentemente aumentar a produtividade das culturas.

O resíduo orgânico gerado pela criação confinada de frangos e perus, denominado de cama aviária, compreende o material utilizado para cobrir o piso das instalações avícolas, agregada de excrementos das aves e restos de ração durante o período de confinamento das aves (MENEZES et al., 2004).

A cama-de-frango e os dejetos de suínos podem ser considerados como adubo orgânico de excelente qualidade por conter altas quantidades de macro e micronutrientes, necessitando, no entanto, conhecer potencialidades e limitações na sua interação com o solo e a água. O material orgânico deve ser incorporado ao solo para se obter a maior eficiência no uso do fósforo e evitar perdas de nitrogênio por meio da volatilização da amônia, embora na prática a acomodação em superfície seja mais realizada, principalmente no sistema de plantio direto, segundo as observações de Santos (1997).

A maior dificuldade para caracterizar os adubos orgânicos quanto à composição química e eficiência agronômica, ou seja, a liberação de bases, N, P₂O₅, K₂O, micronutrientes deve-se à grande diversidade destes quanto à origem dos resíduos, grau de umidade e percentagem de conversão dos animais (CFSEMG, 1999).

Com a utilização de cama de frango e dejetos de suínos, Warren e Fonteno (1993), observaram transformações físico-químicas nos solos agricultáveis,

demonstrando que a capacidade de troca de cátions (CTC) e a disponibilidade de N, P, K, Ca e Mg aumentavam linearmente com o aumento da dose de cama aplicada ao solo. Os mesmos autores verificaram também melhorias relacionadas à agregação e à resistência estrutural do solo, as quais apresentam influência direta na porosidade total e disponibilidade de água no solo.

A matéria orgânica adicionada ao solo não disponibiliza, de imediato, as quantidades totais dos nutrientes para as plantas. Desse modo, a aplicação contínua de fertilizantes orgânicos tende a favorecer o acúmulo gradual dos nutrientes no solo, propiciando um efeito residual para os cultivos subsequentes.

A qualidade de um composto não é decorrência somente do tipo de resíduo, como também dos processos utilizados no preparo. Os produtos, assim obtidos, apresentam como características comuns, percentuais elevados de matéria orgânica e quantidades razoáveis de macro e micronutrientes, o que possibilita o uso na fertilização do solo (CRAVO et al., 1998).

A matéria orgânica decompõe-se nos solos tropicais e subtropicais úmidos, com grande rapidez: 1 a 2 kg/m²/ano. Os efeitos da adubação orgânica vão além de beneficiar as características físicas e biológicas do solo. Também é fonte de nutrientes, pois contém todos os elementos essenciais à vida da planta, contudo, estes se apresentam em baixas concentrações (OLIVEIRA et al., 1986).

Dentre as vantagens da adubação orgânica citam-se as seguintes: efeitos condicionadores (favorece a flocação e agregação das partículas e a estrutura do solo) aumentam a CTC do solo, (capacidade de retenção de água), efeitos sobre os nutrientes (aumenta a disponibilidade dos nutrientes por meio de processos de mineralização e contribui para a diminuição da fixação de fósforo no solo) e efeitos sobre os microrganismos do solo (principal fonte de nutrientes e energia para os microrganismos) (COSTA et al., 2003).

Segundo Matos e colaboradores (1998), a decomposição do material orgânico é diferenciada segundo suas características físicas, químicas e biológicas dos seus componentes, atributos físicos, químicos e hídricos do solo. Segundo estes pesquisadores os açúcares, amidos e proteínas simples são os primeiros a se decompor, a seguir, a decomposição das proteínas bruta e da hemicelulose. A celulose, a lignina e as gorduras são as mais resistentes, podendo com o tempo dar origem às substâncias orgânicas de estrutura complexa, genericamente chamada de húmus. Kiehl (1985) afirma que a decomposição é muito influenciada pela relação C/N, do teor de N na

matéria-prima, do tamanho das partículas, da aeração e umidade do solo e do revolvimento deste. Pesquisa como a de Costa (1985) mostrou que a adição de fosfatos e sulfato de cálcio (gesso agrícola) é recomendada nas condições tropicais como forma de minimizar as perdas de nitrogênio e acelerar a decomposição do material orgânico.

Com a utilização de cama-de-frango e dejetos de suínos, Warren e Fonteno (1993), observaram transformações físico-químicas nos solos agricultáveis, demonstrando que a capacidade de troca de cátions (CTC) e a disponibilidade de N, P, K, Ca e Mg aumentaram linearmente com o aumento na dose de cama aplicada ao solo. Além de ocorrerem melhorias relacionadas à agregação e sua resistência, estrutura, as quais apresentam influência direta na porosidade total e disponibilidade de água no solo.

A produtividade agrícola depende da quantidade e da proporção dos nutrientes existentes no perfil do solo. Desta forma, os usos adequados de dejetos orgânicos, poderão contribuir substancialmente não só para a adequação da fertilidade dos solos e do controle do impacto ambiental que sua utilização poderá causar, mas também para recuperar solos degradados pelo uso intensivo, através da melhoria da agregação e estruturação do solo.

2.6 - Uso de gesso agrícola na cana-de-açúcar

O gesso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), vem sendo utilizado como um condicionador efetivo na melhoria das condições físicas e químicas dos principais tipos de solo. Ao solubilizar-se, o gesso libera cálcio trocável (Ca^{2+}) e sulfato (SO_4^{2-}) para a solução do solo e dependendo da quantidade de água e da dose aplicada, os cátions trocáveis Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ movem-se em profundidade no solo, acompanhando o ânion SO_4^{2-} (SOUZA e LOBATO, 2004).

O mesmo autor ainda confirma que a gessagem, além de elevar os teores de cálcio em superfície, também o faz em subsuperfície, pela maior solubilidade deste produto. O sulfato proveniente do gesso terá acesso ao alumínio em subsuperfície, reduzindo as elevadas saturações deste elemento que impedem o desenvolvimento mais profundo do sistema radicular. É exatamente por este aspecto que o gesso, aliado ao adubo, pode melhorar, consideravelmente, este ambiente radicular. Particularmente, no caso da cana-de-açúcar, este manejo adubo/gesso torna-se ainda mais prioritário, por ser uma cultura em que o sistema radicular forma-se na fase de cana-planta e apenas renova-se nas canas-socas.

Experimentos de campo têm apresentado que solos tratados com gesso permitiram uma maior infiltração e, portanto, são menos afetados pela erosão, promovem a floculação e inibem a dispersão dos agregados, assim como o encostramento superficial. Além disso, o gesso pode reduzir a resistência de camadas subsuperficiais favorecendo a penetração das raízes e a absorção da água pelas mesmas (BRADY; WEIL, 2007).

Segundo Orlando Filho e colaboradores (1994) a cana-de-açúcar tem tido grandes efeitos quando aplicado gesso agrícola, promovendo aumentos nas produtividades de cana-planta e soqueiras.

Concomitantemente, um dos fatores que tem limitado o aumento de produtividade das culturas é o pequeno volume de solo explorado pelo sistema radicular, devido à presença de uma barreira química provocada por elevada saturação por alumínio em subsuperfície, impedindo o desenvolvimento das raízes. Em solos de baixa fertilidade, constata-se que o sistema radicular da cana-de-açúcar explora efetivamente cerca de 0,60 m de solo, embora existam resultados experimentais mostrando que a planta é capaz de explorar profundidades de 1,20 a 2,00 m quando não houver impedimentos físicos e, ou, químico (KOFFLER, 1987).

Dados de literatura mostram o efeito favorável do gesso agrícola em culturas agrícolas. Estudos realizados em diversas regiões canavieiras do país comprovam que o uso do gesso agrícola em associação com o calcário tem proporcionado excelentes resultados, tanto na produção da cana-de-açúcar como na profundidade de enraizamento da planta (SALDANHA, 2005).

Borges (1995), também verificou o efeito favorável da aplicação de gesso quando estudou o efeito das doses de gesso agrícola+matéria seca de crotalária em Latossolo vermelho escuro álico. Constatando que a aplicação de gesso, provocou reduções lineares nos valores de densidade do solo, da argila dispersa em água, e aumento nos valores de porosidade total, macroporos e grau de floculação.

Medina e Brinholi (1998), estudando os efeitos da qualidade da aplicação de gesso agrícola e calcário no comprimento e diâmetro médio dos colmos, no número de colmos e na produção de cana-de-açúcar, constataram que os maiores incrementos de produção foram obtidos com a associação calcário/gesso. Nesta pesquisa, os resultados mostram, ainda, que as menores produtividades foram obtidas quando se fez uso isolado do gesso. Esse efeito negativo do uso isolado do gesso agrícola na produção das culturas, certamente está relacionado com a perda de cátions das camadas superficiais

que acompanham o sulfato do gesso em seu movimento descendente ao longo do perfil do solo.

2.7 - Uso do solo de cerrado e as propriedades físicas do solo

A região do Triângulo Mineiro está inserida no bioma Cerrado, tendo 66,79 % da sua área sob Latossolos Vermelhos, que apresentam baixa fertilidade natural e elevados teores de alumínio trocável, exigindo correções e adubações para a inserção destes no processo produtivo. Em condições naturais, estes solos possuem bons atributos físicos, no entanto, o uso indiscriminado, principalmente com monoculturas e pastagens extensivas, tem levado à deteriorização da qualidade física dos mesmos (GOMES et al., 1982).

O sistema intensivo de uso e manejo do solo pode alterar seus atributos físicos, ocasionar degradação e perda da qualidade do solo, e causar prejuízo para a sua sustentabilidade. Os atributos físicos do solo são bons indicadores de sua qualidade e permitem o monitoramento de áreas que sofreram algum tipo de interferência, determinando o melhor uso daquele que provoca menor degradação. Entre esses atributos, destacam-se a densidade, a porosidade, a resistência mecânica do solo à penetração, a estabilidade de agregados e infiltração de água no solo, considerando também a classe textural. Esse tipo de avaliação é bastante usado para medir-se a evolução da estrutura de um dado solo quando submetido a diferentes sistemas de manejo (SOUZA, 2005).

Os conhecimentos dessas alterações, em condições específicas de solo e clima, são importantes no entendimento das potencialidades e limitações dos sistemas de manejo, em relação à produtividade das culturas, alterações físicas do solo, manejo químico e adoção de práticas que podem contornar possíveis limitações advindas da sua utilização.

O intenso preparo do solo para o plantio da cana-de-açúcar e a utilização constante de cultivadores em condições não ideais de umidade altera suas propriedades físicas, refletindo em alterações na estrutura do solo, principalmente na camada superficial. As modificações que ocorrem na estrutura do solo são evidenciadas por alterações nos valores de densidade do solo, porosidade total, porosidade de aeração, armazenagem e disponibilidade de água às plantas, assim como a consistência e a máxima compactabilidade do solo (CENTURION et al., 2007).

Cavenage e colaboradores (1999) verificaram em estudo que o uso intensivo dos Latossolos Vermelho eutroférrego no nordeste do Estado de São Paulo com a cana-de-açúcar, com preparo superficial excessivo e queima dos resíduos, modificou significativamente as propriedades físicas do solo. As principais alterações são evidenciadas pela diminuição do volume de macroporos, do tamanho de agregados, da taxa de infiltração de água no solo e pelo aumento da resistência à penetração de raízes e da densidade do solo.

Via de regra todo solo, quando incorporado ao processo agrícola, tem suas condições físicas e químicas modificadas, apresentando normalmente uma tendência a divergir da situação natural com o decorrer do tempo, podendo evoluir para situações positivas ou o que é mais comum para mais negativas ao crescimento das plantas. De todos os componentes do manejo o preparo do solo segundo Vieira (1978) é o que mais interfere no seu comportamento físico e químico, já que este atua diretamente na sua estrutura.

Portanto, a compreensão e a quantificação do impacto do uso e manejo do solo na sua qualidade física são fundamentais no desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis (CENTURION et al., 2007). Por isso as avaliações das modificações dos atributos físicos no solo decorrentes do cultivo deveriam ser feitas, analisando suas propriedades periodicamente. Dentre esses atributos físicos principais e a matéria orgânica do solo é possível destacar:

2.7.1 - Textura do solo e a susceptibilidade à compactação

Segundo a Embrapa (1982) o termo textura, refere-se à proporção relativa das frações areia, silte e argila, sendo raramente um solo constituído por uma única fração granulométrica. O conhecimento das proporções dos diferentes tamanhos de partículas (textura do solo) que compõem o solo é importante para o entendimento do comportamento e manejo do solo. Durante a classificação do solo em um determinado local, a textura dos diferentes horizontes é muitas vezes a primeira e mais importante propriedade a ser determinada, pois influí na sua densidade, na capacidade do solo em reter, disponibilizar e infiltrar água, na aeração, além de afetar diretamente a capacidade de retenção de nutrientes no solo. Além disso, a textura do solo não é prontamente sujeita à mudança sendo, portanto, considerada como uma propriedade básica do solo (REINERT et al., 2006).

Para Mazuchouwski e Derpsch (1984), os solos com textura média possuem uma porcentagem relativa de areia, argila e silte em sua composição, sendo propícios para todas as culturas, enquanto que os solos de textura argilosa podem, às vezes, ser impermeáveis e de difícil mecanização, apesar de serem mais resistentes à erosão.

Segundo Bertoni e Lombardi (1999), a textura é um fator essencial na determinação do uso do solo, onde as práticas agrícolas devem estar a ela associadas, visto que o teor de argila ou areia indicará a possibilidade ou não do solo ser trabalhado a úmido e a seco.

2.7.2 - Densidade do solo

A densidade do solo (Ds) refere-se à relação entre a massa de solo seco e o volume total, e é afetada pela cobertura vegetal, teor de matéria orgânica, material de origem, uso e manejo do solo. O aumento excessivo da densidade do solo acarreta diminuição do volume total de poros, redução da permeabilidade e da infiltração de água, quebra dos agregados e aumento da resistência mecânica à penetração, o que ocasiona prejuízo à qualidade física do solo (SILVA et al., 2000).

O uso principal da Ds é como indicador da compactação, sendo medida pelas alterações da estrutura e porosidade do solo. Os valores de Ds são influenciados pela textura do solo, solos arenosos apresentam densidade superior ao solo argiloso, variando de 1,2 a 1,9 g cm⁻³, enquanto solos argilosos apresentam valores mais baixos, de 0,9 a 1,7 g cm⁻³. Valores de Ds associados ao estado de compactação com alta probabilidade de oferecer riscos de restrição ao crescimento radicular situam-se em torno de 1,65 g cm⁻³ para solos arenosos e 1,45 g cm⁻³ para solos argilosos. A densidade do solo tende a aumentar com o aumento da profundidade no perfil, isto se deve, provavelmente, ao menor teor de matéria orgânica, menor agregação, pouca quantidade de raízes e compactação causada pela massa das camadas superiores (REINERT et al., 2006).

O preparo convencional do solo por meio de grade aradora, leva à formação de camadas compactadas superficiais e subsuperficiais, afetando assim o desenvolvimento de plantas, particularmente com a formação de camada compactada próxima à superfície do solo.

Esse fato tem sido apontado como um dos principais indicadores de degradação do solo e causa de declínio da produtividade de culturas. A camada compactada é consequência da intensidade de revolvimento de solo ou trânsito de máquinas, do tipo

de implementos, dos sistemas de manejo do solo, da presença de resíduos vegetais e das condições hídricas no momento de preparo (STONE; SILVEIRA, 2001).

2.7.3 - Estabilidade de agregados

A formação e manutenção de um alto grau de agregação do solo é uma das mais importantes e difíceis tarefas no manejo do solo. A formação de agregados na superfície provoca diminuição da densidade e aumento da macroporosidade do solo. Alguns agregados são destruídos pelo impacto das gotas de chuva e pelo preparo do solo. Outros resistem à desintegração, tornando mais fácil a manutenção da estrutura do solo. Geralmente, os agregados de menor tamanho são mais estáveis, sendo mais difícil a manutenção dos agregados de maior tamanho (BRADY; WEIL, 2007).

A estabilidade dos agregados expressa a resistência à desagregação que os agregados apresentam quando submetidos a forças externas (ação de implemento agrícola e impacto da gota de chuva) ou forças internas (compressão de ar, expansão/contração) que tendem a rompê-los. Mais frequentemente medida contra forças aplicadas pela água, é uma medição que tem estreita relação com a habilidade de um solo resistir à erosão. Um dos métodos mais usados para medir a estabilidade de agregados aplica forças de desintegração em uma amostra de agregados grandes (4 mm) e mede, posteriormente, a distribuição de tamanho de agregados resultantes. O tamanho médio e a proporção de tamanho são usados como índice de estabilidade. (REINERT et al., 2006).

Lawrindo (2006) relatou a importância da matéria orgânica na formação dos agregados e sua atuação como agente cimentante. Agregados são componentes da estrutura do solo e, portanto, de suma importância na manutenção da porosidade e aeração do solo, no crescimento das plantas e da população microbiana, na infiltração de água e no controle dos processos erosivos. Para a formação do agregado, é necessário que os coloides do solo se encontrem floculados e que todos os componentes do agregado sejam, posteriormente, estabilizados por algum agente cimentante. O aumento da estabilidade dos agregados está intimamente relacionado com a capacidade da matéria orgânica de se aderir às partículas minerais do solo, formando as ligações argilo-metal-húmicas.

2.7.4 - Porosidade do solo

A porosidade é caracterizada pelo volume do solo ocupado pela água e pelo ar, representando o local onde circula a solução e o ar, sendo, portanto, o espaço em que ocorrem os processos dinâmicos do ar, crescimento de raízes e solução do solo (KIEHL, 1979). Segundo Reichardt e Timm (2004), a porosidade do solo está diretamente dependente da densidade do solo. Essa também é afetada pelo nível de compactação do solo, pois quanto maior a densidade, menor será o volume do espaço poroso.

O arranjo ou a geometria das partículas do solo determina a quantidade e a natureza dos poros existentes. Os tipos de poros estão associados à sua forma, que por sua vez tem relação direta com sua origem. A classificação mais usual da porosidade refere-se à sua distribuição de tamanho, classificadas em duas classes: micro e macroporosidade.

A microporosidade é uma classe de tamanho de poros que, após ser saturada em água, a retém contra a gravidade. Os macroporos, ao contrário, após serem saturados em água não a retém, ou são esvaziados pela ação da gravidade. A funcionalidade desses poros fica evidente quando se considera que os microporos são os responsáveis pela retenção e armazenamento da água no solo e os macroporos responsáveis pela aeração e pela maior contribuição na infiltração de água no solo. Em solos arenosos há predominância de macroporos, enquanto em solos argilosos a tendência é predominar microporos (REINERT et al., 2006).

Solos de textura arenosa, pelo fato de possuírem partículas maiores, o espaço poroso também é constituído de poros maiores denominados macroporos, por outro lado, nesses solos o volume total de poros é pequeno. Os solos arenosos possuem porosidade total na faixa de 0,32 a 0,47 m³ m⁻³, enquanto os solos argilosos variam de 0,52 a 0,61 m³ m⁻³ e os solos fracos um valor intermediário (REICHARDT; TIMM, 2004).

Estudos do uso intensivo no preparo inicial para a implantação da cultura da cana-de-açúcar em Latossolo Vermelho eutroférico, no nordeste do Estado de São Paulo, verificaram modificações significativas das propriedades físicas do solo. As principais alterações evidenciadas foram, a diminuição do volume de macroporos, do tamanho de agregados, da taxa de infiltração de água no solo e pelo aumento da resistência à penetração de raízes e da densidade do solo (CAVENAGE et al., 1999).

Araújo e colaboradores (2004), trabalhando com solo cultivado e mata nativa, afirmam que os valores de macroporos e de porosidade total do solo foram, significativamente, menores no solo cultivado em comparação com os valores observados no solo sob mata nativa. Em relação aos microporos, estes autores não encontraram diferença significativa entre os dois sistemas estudados. Salientam que a microporosidade do solo é fortemente influenciada pela textura e pelo teor de carbono orgânico e muito pouco influenciada pelo aumento da densidade do solo, originada do tráfego de máquinas e implementos.

2.7.5 - Matéria Orgânica do solo

A matéria orgânica do solo (MOS) é a parte da fração sólida constituída de compostos orgânicos de origem vegetal ou animal, em seus mais variados graus de transformação. O seu conteúdo, na maioria dos solos, varia entre 1 e 10% e possui também elevada superfície específica. O estágio mais avançado de transformação é denominado húmus, cujas características típicas são: estado coloidal, cor escura e alta estabilidade no solo. A matéria orgânica do solo quando humificada recebe juntamente com a fração argila, a denominação comum de complexo coloidal do solo (KIEHL, 1979).

Com a predominância dos Latossolos, no cerrado, os solos são altamente intemperizados e caracterizados por baixa fertilidade natural. A matéria orgânica (MO) é fundamental para elevar a CTC e, consequentemente, favorecer a ciclagem de nutrientes, evitarem mudanças bruscas de pH e manter uma boa agregação das partículas do solo (SILVA; RESCK, 1997).

De acordo com Reichardt e Timm (2004), a composição da matéria orgânica é muito variável, sendo a relação existente entre o carbono e o nitrogênio (C/N) uma característica importante que varia muito conforme a origem do material e com valores de 20/1 a 1000/1 da relação C/N. O interessante é que, qualquer que seja a relação C/N do resíduo, sua decomposição no solo atinge valores de 10/1 a 12/1, típicos do húmus. O tempo de transformação é variável para cada tipo de resíduo, sendo maior para relações maiores. A relação C/N ideal para a decomposição é 30/1.

Sendo que a decomposição de um resíduo orgânico é determinada pela quantidade e qualidade do resíduo além da atividade da biota que é regulada pelos fatores ambientais. Em geral, a decomposição é favorecida por: a) resíduos com baixo

teor de lignina ou compostos fenólicos, alto teor de materiais solúveis e partículas de tamanho reduzido com baixa relação C/N, além do próprio teor de N; b) condições físicas e químicas do solo que maximizem a atividade biológica, especialmente temperatura entre 30-35 °C e umidade próxima à capacidade de campo e c) pela ausência de fatores tóxicos no resíduo ou solo, os quais podem inibir a atividade dos heterotróficos decompositores (REICHARDT; TIMM, 2004).

Lawrindo (2006), analisando vários resultados obtidos por pesquisadores citou a influência da matéria orgânica na estabilidade dos agregados e densidade de partículas, pois a matéria orgânica melhora a estabilidade dos agregados pela diminuição da condutividade hidráulica devido ao efeito deste sobre os agregados do solo. Dados mostram que a maior ou menor estruturação do solo, com aumento do conteúdo de matéria orgânica depende da natureza da matéria orgânica e das condições em que se encontra o solo. O aumento na concentração de matéria orgânica no solo contribui para o aumento da estabilidade dos agregados, mas o aumento é limitado e essa limitação é rompida quando se reduz a densidade do solo.

Na recuperação de um solo degradado, a adição e balanço de matéria orgânica são fundamentais, pois a melhoria e a manutenção das condições físicas internas e externas do solo só poderão ser alcançadas e mantida via biológica, isto é, através da ação de raízes, da atividade macro e microbiológica e da decomposição do material orgânico (ALVES; SUZUKI, 2006).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - Localização da área do experimento

O experimento foi conduzido no campo, no ano agrícola 2007/2008, em área de produção da Cia Mineira de Açúcar e Álcool do Triângulo Mineiro Ltda - CMAA, localizada na BR 497, km 28, Fazenda Lago Azul, município de Uberlândia-MG, possuindo as seguintes coordenadas geográficas: 19° 04' 06.39" latitude Sul e 48° 33' 59.86" longitude Oeste, altitude de 720 m.

3.2 - Clima da região

O clima predominante de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Aw, caracterizado como tropical chuvoso, megatérmico, típico de savanas, com inverno seco. A precipitação pluviométrica mensal e a temperatura média para a região de Uberlândia para o período de janeiro de 2007 a agosto de 2008, conforme dados meteorológicos coletados pelo Laboratório de Climatologia e Recursos Hídricos (LCRH) do Instituto da Geografia da Universidade Federal de Uberlândia, estão apresentados nas Figuras 1 e 2. Observa-se que a temperatura média do mês mais frio foi superior a 15 °C e a precipitação do mês mais seco (agosto) ficou praticamente 0,0 mm de um ano para o outro. A precipitação média anual dos meses de janeiro a dezembro variou em torno de 1530,4 a 1703,3 mm e mensal não ultrapassou 415 mm entre o ano de 2007 a 2008.

O regime de umidade do solo de acordo com a Soil Taxonomy é “ustic”, com número de dias acumulado seco superior a 90 e inferior a 180. A temperatura média do solo a 50 cm de profundidade está em torno de 22 °C, com diferença entre as temperaturas médias do verão e do inverno inferior a 5 °C, sendo classificado pela Soil Taxonomy como “Isohyperthermic” (EMBRAPA, 1982).

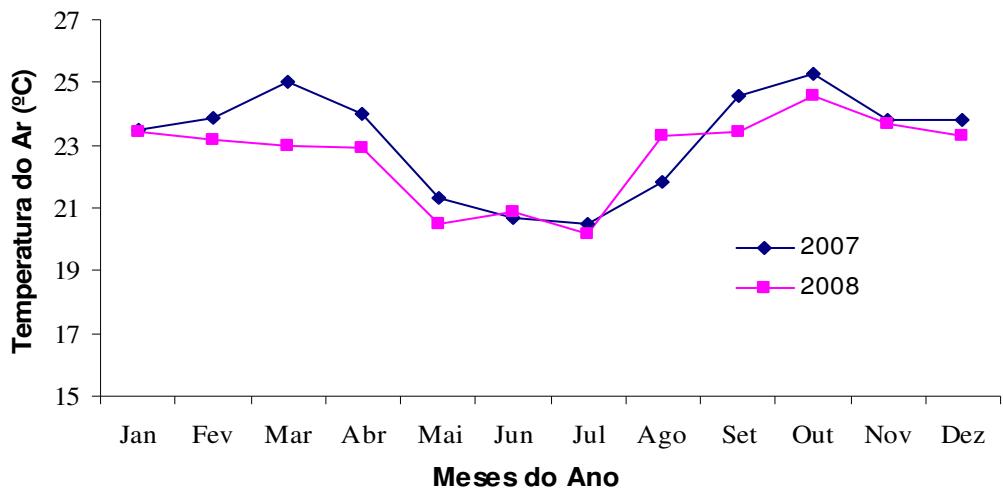


FIGURA 1. Temperatura média mensal no período de janeiro a dezembro nos anos de 2007 e 2008, para a região de Uberlândia, MG

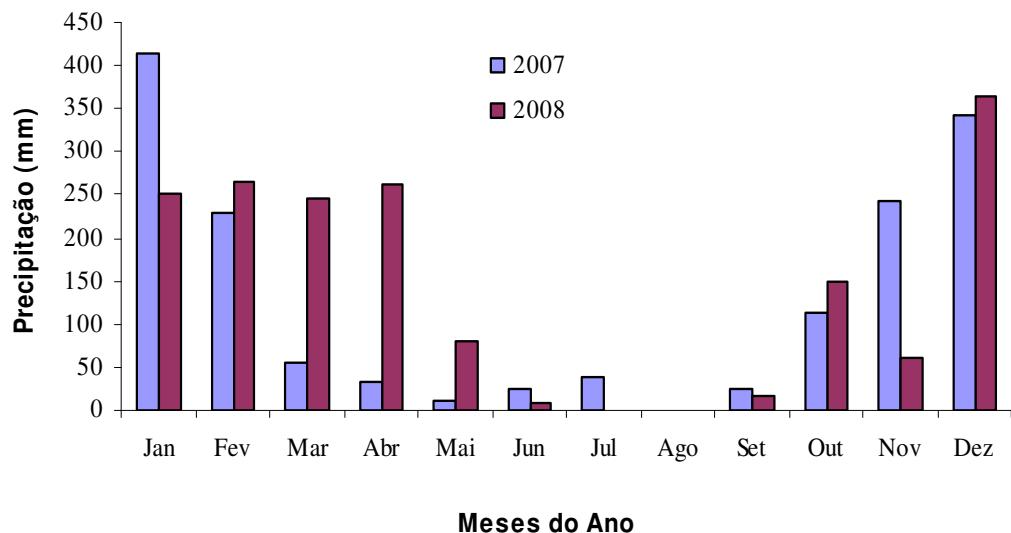


FIGURA 2. Distribuição da precipitação pluviométrica média mensal no período de janeiro a dezembro nos anos de 2007 e 2008, para a região de Uberlândia, MG

3.3 - Caracterização físico-química do solo na área experimental

O estudo foi conduzido em área recém-iniciada com a cultura da cana-de-açúcar, anteriormente, sob pastagem degradada de braquiária (*Brachiaria decumbens* sp.). A unidade de solo é o Latossolo Vermelho distrófico (LVd), textura média, fase cerradão tropical e relevo suave ondulado (EMBRAPA, 1999). Esta unidade de solo é formada na região pelo retrabalhamento de sedimentos do arenito de Bauru e representa cerca de 60% da região do Triângulo Mineiro.

Antes da implantação do experimento (abril de 2007), foram coletadas amostras de solo, na área experimental da fazenda no município de Uberlândia-MG, para a caracterização físico-química do mesmo (Tabelas 1 e 2).

TABELA 1. Caracterização física do solo na área experimental e quantidade de matéria orgânica do solo (MOS), amostrados nas profundidades de 0-25 e 25-50 cm, em abril de 2007

Prof.	AF	AG	Silte	Argila	ADA	Dp	Ds	DMG	MOS	C.T.
cm	.....	g kg ⁻¹	.....	.....	.....	... g cm ⁻³ ...	mm	mm	%	
0-25	351	344	67	238	200,40	2,78	1,62	0,65	2,10	F.A.A
25-50	373	372	46	209	197,20	2,74	1,64	0,42	0,80	F.A.A

Prof. = Profundidade; AF = Areia Fina; AG = Areia Grossa; Areia, Silte e Argila pelo método NaOH 0,1 mol L⁻¹, (EMBRAPA, 1997). ADA = Argila Dispersa em Água; Dp = Densidade de Partículas pelo método do balão volumétrico; Ds = Densidade do Solo pelo método do anel de Koppek; DMG = Diâmetro médio Geométrico de agregado. MOS = Matéria Orgânica do Solo; C.T.= Classificação textural de acordo com Ferreira e Dias Júnior (2001). F.A.A = Franco-argilo-arenosa

TABELA 2. Caracterização química do solo da área experimental, amostrado nas profundidades de 0-25 e 25-50 cm, em fevereiro de 2007.

Prof.	pH H ₂ O	P	K	Al	Ca	Mg	H+Al	SB	t	T	V	M
cm	.....	mg dm ⁻³	.....	.....	cmol _c dm ⁻³	.....	.....	.....	..... % .....	.....	.....	.....
0-25	5,70	6,90	18,00	0,00	1,10	0,20	1,80	1,35	1,35	3,15	42,85	0,00
25-50	5,20	0,70	15,00	0,20	0,50	0,10	2,00	0,64	0,84	2,64	24,24	23,81

Prof. = profundidade; P, K = (HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹) P disponível (extrator Mehlich-1); Ca, Mg, Al, (KCl 1 mol L⁻¹); H+Al = (Solução Tampão – SMP a pH 7,5); SB = Soma de Bases; t = CTC efetiva; T = CTC a pH 7,0; V = Saturação por bases; m = Saturação por alumínio (EMBRAPA, 1997).

3.4 - Caracterização do resíduo utilizado

Os resíduos orgânicos utilizados foram provenientes de criação intensiva de frango, peru e bovinos denominados de cama de frango e de peru, esterco bovino, utilizaram-se também adubo compostado, proveniente da estabilização de material orgânico a base de camas de aves em material humificado e, ainda, um formulado químico recomendado para a cultura da cana-de-açúcar.

Foram coletadas amostras compostas dos resíduos orgânicos para posterior análise de caracterização, conforme resultados apresentados nas tabelas 3 e 4.

As camas de aves e o compostado passaram por um período de estabilização, para posterior aplicação no solo.

TABELA 3. Caracterização química e físico-química da cama de frango e de Peru utilizada no experimento em Uberlândia, MG

Determinações	Cama de Frango		Cama de Peru	
	Base seca 110 °C	Umidade Natural	Base seca 110 °C	Umidade Natural
pH em CaCl_2 0,01 mol L ⁻¹	....	6,7	....	8,2
Densidade (g cm ⁻³)	....	0,588	....	0,366
Umidade Total (%)	....	45,34	....	15,88
Materiais Inertes (%)	....	7,07	....	1,19
Matéria orgânica total (%)	39,50	18,80	58,10	48,19
Carbono Total (%)	21,94	9,70	32,28	26,45
Carbono orgânico (%)	17,50	7,74	29,53	24,20
Resíduo Mineral Total (%)	61,24	29,14	42,74	35,45
Resíduo Mineral Solúvel (%)	31,38	13,88	18,77	15,38
Resíduo Mineral Insolúvel (%)	29,86	14,21	23,97	19,88
N total (%)	1,60	0,76	2,24	1,86
P total (%)	1,76	0,84	1,94	1,61
K total (%)	0,30	0,14	3,31	2,74
Ca total (%)	4,12	1,96	2,75	2,28
Mg total (%)	0,77	0,37	0,70	0,58
S total (%)	0,40	0,19	0,48	0,40
Cu total (mg kg ⁻¹)	500	238	303	251
Mn total (mg kg ⁻¹)	1009	480	637	528
Zn total (mg kg ⁻¹)	701	334	448	371
Fe total (mg kg ⁻¹)	12316	5861	6348	5265
B total (mg kg ⁻¹)	20	10	50	41
Na total (mg kg ⁻¹)	4960	2360	55088	45689
Relação C/N (C total e N total)	14/1	13/1	14/1	14/1

¹/Análises realizadas no LABAS-ICIAG-UFU; ²/ C total (oxidação da matéria orgânica com solução 0,17 mol L⁻¹ de dicromato de potássio e titulação do excesso de dicromato com solução de sulfato ferroso amoniacial 0,5 mol L⁻¹); ³/ N (método micro-kjeldhal); ⁴/ P (método do vanadato-molibdato); ⁵/ K, Ca e Mg (espectrofotometria de chama); ⁶/ S (método gravimétrico); ⁷/ Cu, Mn, Zn e Fe (espectrofotometria de absorção atômica).

TABELA 4. Caracterização química e físico-química do esterco bovino e fertilizante orgânico Valoriza-S^{*} (Compostado) utilizado no experimento em Uberlândia, MG

Determinações	Esterco Bovino		Compostado
	Base seca 110 °C	Umidade Natural	Umidade Natural [*]
pH em CaCl ₂ 0,01mol L ⁻¹	....	8,3	7,8
Densidade (g cm ⁻³)	....	0,526	....
Umidade Total (%)	....	56,03	30
Materiais Inertes (%)	....	0,39	....
Matéria orgânica total (%)	39,10	17,04	38
Carbono Total (%)	21,72	9,43	....
Carbono orgânico (%)	19,32	8,39	....
Resíduo Mineral Total (%)	61,36	26,74	....
Resíduo Mineral Solúvel (%)	12,19	5,29	....
Resíduo Mineral Insolúvel (%)	49,17	21,43	....
N total (%)	1,34	0,58	2,7
P total (%)	0,92	0,40	4,2
K total (%)	1,87	0,82	2,0
Ca total (%)	1,22	0,53	4,2
Mg total (%)	0,33	0,14	1,32
S total (%)	0,25	0,11	0,78
Cu total (mg kg ⁻¹)	39	17	81,50
Mn total (mg kg ⁻¹)	197	86	445
Zn total (mg kg ⁻¹)	135	59	476,75
Fe total (mg kg ⁻¹)	11452	4990	11000
B total (mg kg ⁻¹)	50	22	182,00
Na total (mg kg ⁻¹)	16626	7245	4400
Relação C/N (C total e N total)	16/1	16/1	12,75/1

¹/Análises realizadas no LABAS-ICIAG-UFU; ²/ C total (oxidação da matéria orgânica com solução 0,17 mol L⁻¹ de dicromato de potássio e titulação do excesso de dicromato com solução de sulfato ferroso amoniacial 0,5 mol L⁻¹); ³/ N (método micro-kjeldhal); ⁴/ P (método do vanadato-molibdato); ⁵/ K, Ca e Mg (espectrofotometria de chama); ⁶/ S (método gravimétrico); ⁷/ Cu, Mn, Zn e Fe (espectrofotometria de absorção atômica). ^{*}Análise disponibilizada pela Valoriza Fertilizantes.

3.5 - Adubos e delineamento estatístico

A área experimental utilizada para a implantação da pesquisa foi de 0,9 ha, dividida em quatro blocos com 10 parcelas cada de 10x15 m², separadas entre si por 1,5 m. O espaçamento entre linhas foi de 1,5 m, perfazendo um total de 10 linhas de plantio/parcela, sendo que a área útil da parcela constituiu-se de 8 linhas, ficando 2 para a bordadura (Anexo D). O preparo do solo consistiu em operações sucessivas de subsolagens, gradagens pesadas, grades niveladoras e abertura de sulcos de 50 cm de profundidade com sulcador.

Inicialmente toda a área agrícola recebeu, para a correção do solo, de acordo com os resultados da análise de solo, a aplicação de 3,50 t ha⁻¹ de calcário e 1,50 t ha⁻¹ de gesso agrícola a lanço em área total, em quantidades visando atingir saturação por bases de 60 %, recomendada pela Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (CFSEMG, 1999) para a cultura da cana-de-açúcar.

O controle de plantas infestantes foi feito com a aplicação do herbicida Glifosato na quantidade de 3,50 L ha⁻¹, com jato dirigido.

O delineamento da área experimental foi em blocos casualizados (DBC), em esquema fatorial de parcelas subdivididas no espaço em 5x2x2 (tipo de adubo, gesso agrícola e profundidade) com duas épocas distintas do ano para amostragens: uma no período chuvoso (janeiro) e a outra no período seco (julho/agosto). A variedade de cana-de-açúcar plantada foi a RB 867515 de ciclo médio/tardia, denominada de “cana-de-ano e meio”. Esta variedade foi escolhida de acordo com a época de plantio e as condições climáticas da região e também por possuir maiores produtividades.

Os diferentes tipos de adubos utilizados como tratamentos foram os seguintes resíduos orgânicos: cama de frango (CF), cama de Peru (CP), compostado (AC), esterco bovino (EB). A testemunha foi constituída pelo fertilizante mineral MAP (fósforo monoamônico com 48% de P₂O₅ solúvel em H₂O) de recomendação tradicional para a cana, todos combinados com a presença de gesso agrícola (+G), previamente misturado ao adubo, e a ausência deste (-G).

A aplicação dos adubos ocorreu no mesmo dia do plantio, manualmente, no fundo do sulco de plantio e incorporados com o auxílio de um rastelo. A quantidade de dejetos orgânicos e adubo químico aplicados no sulco de plantio (Tabela 5) baseou-se na

quantidade de P₂O₅ presente no adubo e no solo e na necessidade da cultura da cana-de-açúcar, segundo a CFSMG (1999) que varia de 100 a 140 kg ha⁻¹. As mudas foram cobertas com 14 cm de solo (Figura 3).



FIGURA 3. Área experimental com plantio de cana-de-açúcar. Foto: Gomides, 2007

TABELA 5. Quantidades de adubo orgânico e mineral utilizadas como tratamentos na área experimental

Adubos	Espaçamento entre sulco		Parcela	Quant./ sulco	Total 0,9 ha	Total 1 ha
	m	m ²				
Químico (MAP)	1,5	150		0,31	25	28
Cama de Frango	1,5	150		7,20	576	640
Cama de Peru	1,5	150		5,14	411	457
Esterco Bovino	1,5	150		20,00	1600	1778
Adubo Compostado	1,5	150		4,29	343	381
Gesso Agrícola	1,5	150		2,48	495	550

Adubos: AQ: Adubo Químico (MAP – 48% P₂O₅); CF: Cama de Frango; CP: Cama de Peru; EB: Esterco Bovino; AC: Adubo Compostado; GA: Gesso Agrícola.

Os resultados obtidos foram submetidos a análises de variância (Tabela 6) e a comparação das médias realizada pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, em esquema de parcelas subdivididas no espaço, tendo como fatores da parcela os tipos de adubos com e sem gesso agrícola e suas interações, nas subparcelas foram avaliadas as profundidades (0-25 e 25-50 cm) e suas interações em duas épocas distintas (período chuvoso e seco). Para as análises estatísticas utilizou-se o programa estatístico Sisvar (FERREIRA, 2000).

TABELA 6. Resumo da análise de variância do experimento

FV ¹	GL ²
Adubos	4
Gesso	1
Adubos*Gesso	4
Bloco	3
Resíduo (a)	27
Prof	1
Prof*Adubos	4
Prof*Gesso	1
Prof*Adubos*Gesso	4
Resíduo (b)	30

¹FV= Fonte de variação; ²GL= Grau de liberdade.

3.6 - Coleta de amostras e análises realizadas

A amostragem de solo foi realizada na linha de plantio, nas profundidades de 0-25 cm e 25-50 cm, em duas épocas distintas do ano agrícola de 2008, uma no período chuvoso (janeiro) e a outra no período seco (julho), visando detectar possíveis influências das condições climáticas regionais sobre os atributos físicos do solo, com base na metodologia da Embrapa (1997).

As determinações de campo e as amostras para esta pesquisa foram realizadas ao acaso em cada parcela que compõem os diferentes adubos. Com auxílio de um enxadão foram abertos perfil em cada local para fazer a amostragem nas profundidades analisadas de 0-25 cm e 25-50 cm em épocas distintas do ano de 2008, uma no período das chuvas (janeiro) e a outra no período da seca (julho), com a cavadeira e a ajuda de uma faca, foram retiradas as amostras de solo e acondicionadas em sacos plásticos devidamente identificados (Anexo E) e encaminhadas ao laboratório, estas amostras foram colocadas para secar ao ar (TFSA), passadas por peneiras de malha 4 e 2 mm para posterior avaliação dos seguintes atributos físicos do solo: análise granulométrica (textural), argila dispersa em água (ADA), grau de floculação (GF), densidade do solo (Ds) pelo método do anel de Kopeck, Densidade de partículas (Dp) pelo método do balão volumétrico, porosidade total (Pt), distribuição de macro (Ma) e microporos (Mi) e matéria orgânica do solo (MOS), verificou-se também a distribuição das raízes nos

dois períodos de amostragens. Todas as análises foram feitas de acordo com metodologia proposta pela Embrapa (1997).

As análises foram realizadas no Laboratório de Manejo e Conservação do solo (LAMAS) e de Análise de Solo (LABAS) do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), conforme metodologia da Embrapa (1997).

3.7 - Análises laboratoriais

3.7.1 - Análise Granulométrica

Para a determinação da textura dos solos, empregou-se o método da Pipeta volumétrica. Pesou-se aproximadamente 10 g de terra fina seca ao ar (TFSA), convertida em terra fina seca em estufa (TFSE) em média de 9,85 gramas de solo em copo plástico com 10 esferas de chumbo. Acrescentou-se 50 ml de solução NaOH 0,1 mol L⁻¹. A amostra foi dispersa por agitação em agitador horizontal a 220 rpm, por um período de 12 horas. Após o período da agitação, o material foi despejado em uma peneira de malha de 0,210 mm, acoplada a uma segunda peneira de malha de 0,053 mm e esta por sua vez acoplada a uma proveta de 1000 mL através de um funil. Na primeira peneira ficou retido a areia grossa e na segunda a areia fina.

Para a proveta foram transferidas as frações silte e argila da amostra inicial. O volume foi completado com água destilada e agitado por 1 minuto com auxílio de uma haste de metal e deixado em repouso por 4 minutos. Após este repouso, introduziu-se a ponta da pipeta até a profundidade de 10 cm na proveta e pipetada uma alíquota de 25 mL da suspensão (fração silte + fração argila). Após um novo repouso de aproximadamente 4 horas, variável em função da temperatura ambiente, foi novamente introduzida até a profundidade de 5 cm uma pipeta de 25 mL para a coleta da suspensão contendo argila.

Todas as frações de areia grossa, areia fina, silte + argila e argila foram transferidas para cápsulas de porcelanas, previamente identificadas, e levadas à estufa a 105 °C por 24 horas. Após seco, foram esfriadas em dessecador e pesadas.

A partir dos dados da análise granulométrica, foram calculadas as proporções das frações, utilizando as expressões apresentadas por Embrapa (1997):

$$\text{Areia grossa (\%)}: \frac{\text{peso da areia grossa (g)}}{10} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Areia fina (\%)}: \frac{\text{peso da areia fina (g)}}{10} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{Silte (\%)}: \frac{\text{peso do silte (g)}}{10} \times 1000 \quad (3)$$

$$\text{Argila (\%)}: \frac{\text{peso da argila (g)}}{25} \times 1000 \quad (4)$$

A determinação da classe textural do solo foi feita utilizando o triângulo textural. Os valores obtidos, a partir da estimativa dos percentuais das diferentes frações, são lançados no triângulo textural. Pela intersecção de pelo menos duas frações tem-se a classe textural (Figura 4).

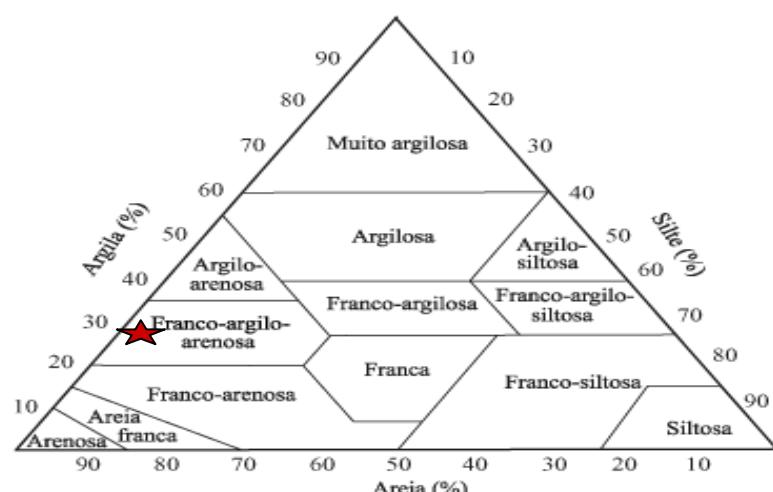


FIGURA 4. Triângulo de classe textural de solos. Fonte: Ferreira e Dias Júnior, 2001

De acordo com as análises das frações, o solo pode ser classificado como Franco-argilo-arenosa (textura média), ou seja, na profundidade de 0-25 cm possui: 695 g kg^{-1} de areia, 67 g kg^{-1} de silte e 238 g kg^{-1} de argila, e na profundidade de 25-50 cm: 745 g kg^{-1} de areia, 46 g kg^{-1} de silte e 209 g kg^{-1} de argila de acordo com a média dos valores do ANEXO 2B.

3.7.2 - Argila Dispersa em Água

Para a determinação da argila dispersa em água (ADA), seguiu-se o mesmo procedimento da análise granulométrica, substituindo 50 mL de NaOH 0,1 mol L⁻¹ por 50 mL de água destilada.

Determina-se o teor de ADA por meio da expressão 5:

$$AD = A \times 4000 \quad (5)$$

Em que:

AD = argila dispersa, em g kg⁻¹;

A = massa da argila, em g;

4000 = fator de correção para 1000 g de solo.

3.7.3 - Grau de Floculação

O grau de floculação é a relação entre o teor de argila naturalmente dispersa em água (ADA) e o teor de argila total, obtido por meio da dispersão total. Isso indica a proporção da fração argila que se encontra floculada no solo e pode ser determinado conforme a expressão 6:

$$GF = \frac{(a - b)}{a} \times 100 \quad (6)$$

Em que:

GF = grau de floculação, em %;

a = argila total, em g kg⁻¹;

b = argila dispersa em água, em g kg⁻¹.

3.7.4 - Densidade do Solo

A densidade do solo (Ds) consistiu em coletar a amostra de solo no campo de modo a preservar sua distribuição de poros, sem perturbar sua estrutura (amostra indeformada). Foi realizada pelo método do anel de metal (EMBRAPA, 1997), que

constituiu em cravar no solo um anel de Kopecky de bordas cortantes com volume interno de aproximadamente 80 cm³. Com o auxílio de um enxadão, a área foi limpa e retirada uma camada superficial do solo. Foi aberto perfil em cada local para fazer a amostragem nas profundidades analisadas de 0-25 cm e 25-50 cm nas duas épocas distintas (Período chuvoso e seco).

Introduziu-se o anel de metal no solo com auxílio do amostrador tipo Uhland (Figura 5) com um cilindro que auxiliava para que o anel aprofundasse no solo até seu preenchimento total sem causar compactação da amostra nas profundidades desejadas, de forma a obter uma amostra representativa da camada amostrada. Depois, com o auxílio de uma faca, foi retirado o excesso de solo fazendo um nivelamento das bordas inferiores e superiores do anel. Posteriormente à coleta, as bordas dos anéis foram revestidas com plásticos e presas com um elástico, sendo acondicionados, cuidadosamente, em um recipiente que evitasse pressões sobre a massa de solo durante o transporte até o laboratório. No laboratório, os anéis contendo o solo foram levados para estufa a 105 °C por aproximadamente 24 horas, até peso constante.

Após esse período, as amostras foram pesadas e determinadas a densidade do solo, expressa em g cm⁻³, calculada conforme a expressão 7:

$$Ds = \frac{Ms}{Vt} \quad (7)$$

Em que:

Ds = densidade do solo, em g cm⁻³;

Ms = massa da amostra de solo seca a 105 °C, em g;

Vt = volume do anel, em cm⁻³.

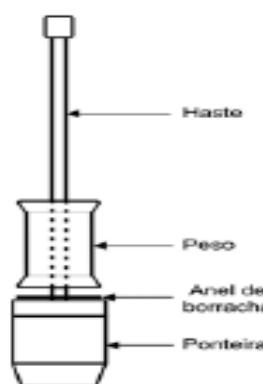


FIGURA 5. Amostrador de Uhland utilizado para coletas de amostras indeformadas.

Fonte: Silva, 2008

3.7.5 - Densidade de Partículas

Em relação à densidade de partículas (D_p), foi realizada análise seguindo a rotina da Embrapa (1997) através da metodologia do balão volumétrico. Visando determinar o volume de álcool necessário para completar a capacidade do balão volumétrico, contendo solo seco em estufa.

Pesou-se 20 g de solo seco na estufa a 105 °C por 12 horas. Transferiu-se a amostra desse solo para balão volumétrico de 50 mL aferido. Acrescentou-se álcool no balão até cobrir todo o material (20 a 30 mL), agitando bem o balão para eliminar as bolhas de ar que pudesse formar. Utilizando uma bureta de 50 mL de álcool, deixou-se escorrer o mesmo para o interior do balão, procurando evitar que bolhas de ar ficassem presas dentro do balão. Prosseguiu-se com a operação, vagarosamente, até a ausência de bolhas e completou o volume do balão. Anotou-se o volume de álcool gasto (VAG). Para calcular a densidade de partículas, utiliza-se a expressão 8:

$$D_p = \frac{MSS}{50-VAG} \quad (8)$$

Em que:

D_p = Densidade de partícula, em $g\ cm^{-3}$;

MSS = Massa de Solo Seco, em g;

VAG = Volume do álcool gasto, em mL.

Obs.: Transformação de medida: 1 mL = 1 cm^3 e considerando a densidade da água (1 $g\ cm^{-3}$), então 1g = 1 cm^3 .

Os dados obtidos com a densidade de partículas do solo de cada volume dos perfis estudados mostraram uma semelhança de valores independente da cultura e manejo do solo utilizado, uma vez que estes valores de D_p estão relacionados com o material de origem do solo. A maioria dos volumes analisados apresentou valores de densidades de partículas entre 2,66 $g\ cm^{-3}$ a 2,81 $g\ cm^{-3}$, (ANEXO 1A) os quais estão dentro do valor padrão estimados para esta classe de solo.

3.7.6 - Estabilidade de Agregados em Água por via úmida

A estabilidade dos agregados em água foi determinada pelo método do peneiramento em água, um aparelho de oscilação vertical, proposto por Yoder (1936). Os resultados foram expressos na forma do diâmetro médio geométrico (DMG). Para isso, parte do solo foi peneirado em malha de diâmetro de 4 mm e retido com peneira em malha de 2 mm para determinação do DMG de agregados, conforme metodologia da Embrapa (1997).

Das amostras preparadas e peneiradas em malha de 2 mm, pesaram-se amostras de 25 gramas em triplicata, sendo a primeira amostra colocada em estufa a 105 °C, por 24 horas para a determinação da umidade das amostras, para correção posterior das massas das alíquotas, e as outras duas amostras foram colocadas na parte superior de dois jogos de peneira de 13 cm de diâmetro, com aberturas de malha de: 2mm; 1mm; 0,50mm e 0,25mm, sobrepostas nessa ordem.

Ajustou-se o nível de água no recipiente do aparelho de oscilação vertical, de modo que a oscilação vertical atingisse uma amplitude de 4 cm. As amostras a serem colocadas no aparelho permaneceram por um minuto em repouso para seu pré-umedecimento. Posteriormente, ajustou-se a frequência do aparelho para 32 oscilações por minuto pelo período 4 minutos (Figura 6). Após este determinado tempo de oscilação das amostras, o aparelho foi desligado e os suportes contendo os jogos de peneiras foram retirados e as frações retidas em cada peneira foram transferidas para latas de alumínio identificadas, com o auxílio de uma pisseta com água, que foram colocadas em estufa a 105° C por 24 horas. Calculou-se a proporção de agregados (PA) retidos em cada peneira, expresso na seguinte ordem: 4-2; 2-1; 1-0,50; 0,50-0,25mm, determinados pela expressão 10 para posterior determinação do diâmetro médio geométrico (DMG):

$$\text{PA} = \frac{\text{MAC}}{\text{MAS}} \times 100 \quad (10)$$

Em que:

PA = proporção de agregados, em %;

MAC = massa de agregados da classe a 105° C, em g;

MAS = massa da amostra de solo seca a 105° C, em g.

Com as proporções por classe calculada, foi determinado o diâmetro médio geométrico (DMG) das amostras segundo a expressão 11.

O cálculo do diâmetro médio geométrico dos agregados é importante por facilitar a comparação dos dados, uma vez que condensa informações a respeito da distribuição dos agregados do solo em apenas um valor médio.

$$DMG = \text{antilog} = \frac{\sum_{i=n} (W_i \times \log X_i)}{\sum_{i=n}^n W_i} \quad (11)$$

Em que:

DMG = diâmetro médio geométrico, em mm;

Wi = proporção de agregados de cada classe (%), expressão 10;

Xi = valor médio de cada classe (mm).



FIGURA 6. Aparelho de Yoder, utilizado para a determinação da estabilidade dos agregados por via úmida. Fonte: Silva, 2008

3.7.7 - Macro, Micro e Porosidade Total do solo

Os poros do solo apresentam os mais variados tamanhos, formas e tortuosidade e é por eles que circula o ar e água. De acordo com os diâmetros dos poros eles podem ser classificados em: macroporos que se refere ao volume do solo que corresponde aos

poros com diâmetro maior que 0,05mm e os microporos com diâmetros menores que 0,05mm.

Para medir a macro e microporosidade do solo, é necessário mesa de tensão e o extrator de placa porosa, também chamado de panela de tensão (Figura 7).

Foram utilizadas amostras indeformadas retiradas com amostrador tipo Uhland e anel de metal de Kopecky de bordas cortantes, seguindo a metodologia da Embrapa, 1997, conforme a descrição para densidade do solo. No laboratório, a extremidade não cortante do anel foi revestida com um pano de seda e preso com elástico.

As amostras foram colocadas em bandejas e saturadas com água durante cerca de aproximadamente 16 horas, sendo que a água foi adicionada gradualmente com o propósito de expulsar todo o ar dos microporos e após foram pesadas para se obter o peso saturado das amostras e colocadas em uma mesa de tensão e submetidas à sucção de 6 Kpa, ou seja, o “frasco de nível” de sucção correspondente a 60 cm de altura da coluna d’água, conforme metodologia da Embrapa (1997) com algumas modificações. Este valor de sucção drena a água dos poros com diâmetro maior de 0,05 mm, que é considerado o limite entre macro e microporos do solo.

Os anéis colocados na panela de tensão (Figura 7) onde permaneceram por um período de aproximadamente 24 horas ou até sua total drenagem. Após este período foram retirados e pesados novamente, para obter o peso drenado da amostra. Por este meio obteve-se a macroporosidade (Ma) do solo, calculada pela expressão 12:

$$Ma = \frac{(A-B)}{C} \quad (12)$$

Em que:

Ma = macroporosidade do solo, em $m^3 m^{-3}$;

A = peso da amostra do solo saturado, em g;

B = peso da amostra drenada até a tensão de 60 cm, em g;

C = volume do anel, em cm^3 .

Após determinado o peso drenado, as amostras foram transferidas para a estufa calibrada a 105 °C por um período de 24 a 48 horas ou até obter peso constante, passado este tempo, pesou-se novamente as amostras e determinou-se o peso seco em estufa, determinando-se a seguir a microporosidade (Mi) do solo, através da expressão 13:

$$Mi = \frac{(D-E)}{C} \quad (13)$$

Em que:

Mi = microporosidade do solo, em $m^3 m^{-3}$;

D = peso da amostra drenada até a tensão de 60 cm, em g;

E = peso da amostra seca em estufa a 105 °C, em g;

C = volume do anel, em cm^3 .

A porosidade total do solo é determinada pelo volume de poros totais que podem estar ocupado por água e/ou ar, sendo obtido através da soma de macro e microporos determinado, conforme metodologia proposta por Embrapa (1997), obtida pela seguinte expressão 14:

$$Pt = (Ma + Mi) \quad (14)$$

Em que:

Pt = porosidade total, em $m^3 m^{-3}$;

Ma = macroporosidade do solo, em $m^3 m^{-3}$;

Mi = microporosidade do solo, em $m^3 m^{-3}$.

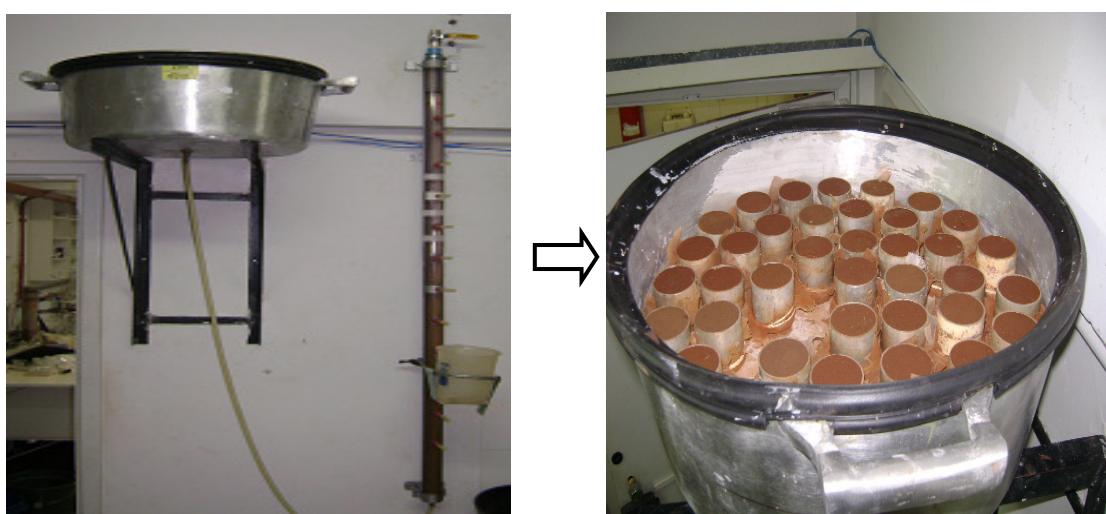


FIGURA 7. Panela de tensão a 60 cm da coluna d'água, utilizada para determinação de macroporosidade do solo. (Adaptado para o Laboratório de Manejo e Conservação do solo - UFU, 2008). Foto: Gomides, 2008

3.7.8 - Matéria Orgânica do Solo

A determinação da matéria orgânica do solo (MOS) foi realizada pelo método da leitura pelo espectrofotômetro, acondicionaram-se 1,0 cm³ de terra fina seca ao ar (TFSA), e transferido para um copo de polietileno, foram adicionados 10 mL de solução digestora de dicromato de sódio + ácido sulfúrico ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 4N + H_2SO_4 10 N) como agente oxidante. As amostras foram agitadas por 10 minutos em agitador horizontal a 170 rpm. Deixou-se em repouso por 1 hora. Após este período, foram acrescentados 50 mL de água destilada, deixando decantar durante a noite. Na manhã seguinte, foi coletada uma alíquota de 25 mL de cada amostra e transferida para copos plásticos identificados e realizada a leitura no espectrofotômetro de chama (filtro vermelho) a 650 nm (transmitância (T), acertando o zero com a prova em branco).

Anotou-se o valor lido de cada amostra no espectrofotômetro e calculou-se a MOS conforme a expressão 9:

$$\% \text{ MOS} = \frac{(L_a - L_b)}{L_b} \times 13,6 \quad (9)$$

Em que:

MOS = Matéria Orgânica do Solo, em g dm⁻³;

Lb = leitura da prova (exceto o solo);

La = leitura da amostra;

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises de variância (ANEXO 3C, 4C, 5C e 6C) mostraram que todos os atributos físicos do Latossolo Vermelho distrófico foram influenciados pela: adubação, presença e/ou ausência de gesso agrícola, profundidades e épocas de coleta, com exceção apenas da microporosidade (Mi), que não foi influenciada por nenhum destes fatores. As variáveis analisadas apresentaram comportamentos diferenciados entre as épocas de coleta do período chuvoso em janeiro e período seco em julho (Tabelas 7 a 19).

Observou-se que na primeira coleta de solo, no período chuvoso, a cana-de-açúcar com 8 meses de plantio, as raízes concentravam-se nas camadas mais superficiais de 0-30 cm de profundidade (Figura 8). Na segunda coleta, no período seco, a amostragem se deu com o ciclo da cana de aproximadamente 14 meses, quando o sistema radicular encontrava-se melhor distribuído no perfil do solo, com grande presença de raízes até a profundidade de aproximadamente 50 cm (Figura 9).



FIGURA 8. Amostragem no período chuvoso (8 meses), concentração de raízes de cana-de-açúcar nos primeiros 25 cm de profundidade. Foto: Gomides, 2008



FIGURA 9. Amostragem no período seco (14 meses), concentração de raízes de cana-de-açúcar até 50 cm de profundidade. Foto: Gomides, 2008

Observou-se que a adubação com dejetos até o oitavo mês após o plantio promoveu desenvolvimento maior da cultura do que com o uso do adubo químico, provavelmente pela maior retenção de água e atividade biológica junto à raiz, pois a taxa de liberação de nutrientes pela decomposição é mais equilibrada ao longo do crescimento da planta, com redução das perdas tanto por lixiviação como por volatilização, muito comum em solos de textura média/arenosa quando se utiliza adubos químicos concentrados no sulco de plantio da cana.

Espera-se que, com aplicações constantes destes dejetos orgânicos, o efeito da matéria orgânica se manifeste principalmente naqueles atributos relacionados com a retenção de água e fornecimento equilibrado dos nutrientes.

4.1 - Argila dispersa em água

A quantidade de argila dispersa em água (ADA) do solo variou com os cinco tipos de adubos utilizados para o cultivo da cana-de-açúcar, enquanto que o grau de floculação (GF) também variou na mesma magnitude, mas de maneira inversa para os tipos de adubos.

Para o período chuvoso, primeira época de amostragem realizada em janeiro, não houve diferença significativa ($P \geq 0,05$) para os adubos e profundidades, ocorrendo de fato apenas interação simples (ANEXO 3C) para a presença e/ou ausência de gesso agrícola aos diferentes tipos de adubos. Observou-se, assim, efeito favorável ao uso do gesso agrícola no solo, ocorrendo redução dos valores de ADA (Tabela 7).

A quantidade de argila dispersa em água (ADA) do solo variou com os cinco tipos de adubos utilizados para o cultivo da cana-de-açúcar, enquanto que o grau de floculação (GF) também variou na mesma magnitude, mas de maneira inversa para os tipos de adubos.

Para o período chuvoso, primeira época de amostragem realizada em janeiro, não houve diferença significativa ($P \geq 0,05$) para os adubos e profundidades, ocorrendo de fato apenas interação simples (ANEXO 3C) para a presença e/ou ausência de gesso agrícola aos diferentes tipos de adubos. Observou-se assim, efeito favorável ao uso do gesso agrícola no solo, ocorrendo redução dos valores de ADA (Tabela 7).

Borges (1995), também verificou o efeito favorável da aplicação de gesso quando estudou o efeito das doses de gesso agrícola+matéria seca de crotalária em Latossolo vermelho escuro álico. O autor constatou que a aplicação de gesso provocou reduções lineares nos valores de densidade do solo, da argila dispersa em água, e aumento nos valores de porosidade total, macroporos e grau de floculação.

Para o período seco, segunda época de amostragem, realizada em julho, observou-se diferença significativa de interação simples (ANEXO 5C) entre os tipos de adubos estudados com e sem a presença de gesso agrícola (Tabela 7).

TABELA 7. Valores médios de argila dispersa em água (ADA) do solo cultivado com cana-de-açúcar, submetido a diferentes adubos com e sem gesso agrícola, profundidades e períodos distintos de amostragens

Adubos	ADA (g kg^{-1})			
	Período Chuvoso		Período Seco	
	Média		Média	
Compostado	177,63	a	156,53	ab
Químico (MAP)	192,33	a	175,68	a
Cama de Frango	187,35	a	155,20	ab
Cama de Peru	194,33	a	156,13	ab
Esterco Bovino	194,95	a	147,70	b
DMS_{adub.}	47,81		21,05	
Com gesso	175,26	b	153,06	b
Sem gesso	203,37	a	163,43	a
DMS_{gesso}	21,24		9,35	
Profundidade				
0-25 cm	181,96	a	153,82	a
25-50 cm	196,67	a	162,67	a
DMS_{prof}	17,95		9,83	
CV_a (%)¹	24,45		12,88	
CV_b (%)¹	20,77		13,6	

Adubos: AC: Adubo Compostado; AQ: Adubo Químico (testemunha), CF: Cama de Frango; CP: Cama de Peru; EB: Esterco Bovino, todos combinados com e sem gesso agrícola. DMS: Diferença Mínima Significativa; ¹CV_a e CV_b: Coeficientes de variação da parcela da subparcela, respectivamente. Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Observou-se redução dos valores de ADA neste período quando comparados com o período chuvoso. Isto possivelmente se deve ao preparo do solo utilizado na área antes do plantio, ocorrendo profunda e intensa mobilização e revolvimento do solo até

os primeiros 50 cm de profundidade, aumentando a dispersão da argila, afetando nas quantidades de ADA da primeira época de amostragem comparativamente à segunda, quando a atividade reorganizou sua estrutura no solo. Provavelmente, o intenso processo de mobilização inicial da biota do solo para a implantação da cultura da cana-de-açúcar, mesmo após 8 meses, tenha sido o principal responsável pelo elevado grau de dispersão da argila e, consequentemente, redução do grau de floculação observado até mesmo nas análises de caracterização.

É comum, nas principais usinas de açúcar e álcool, fazer no solo mais de cinco gradagens e/ou arações profundas para o preparo inicial do solo. Nas condições de solo de cerrado, pobres e, inicialmente, com baixo crescimento vegetal, estas gradagens repetitivas terem causados danos físicos de difícil recuperação para as condições de exigência da própria cultura da cana-de-açúcar.

Em relação aos tipos de adubos, pode-se observar que o adubo químico em relação aos dejetos apresentou uma maior capacidade em aumentar a ADA 175,68 g kg⁻¹, quando comparados aos outros tipos de adubos orgânicos, como o EB que apresentou o menor valor 147,70 g kg⁻¹. Esta diferença ocorre devido à quantidade e qualidade da matéria orgânica depositada no sulco através do EB, que apresenta maior relação C/N e é mais significado apresentando uma agregação mais efetiva na estruturação do solo, o que não acontece com o adubo químico (AQ) (testemunha), que na presença de umidade solubiliza-se, liberando íons que dilatam a dupla camada difusa.

A presença do material orgânico, nos adubos com dejetos, apesar da disponibilização de nutrientes no solo serem gradativamente lenta em relação ao adubo químico, ele promove maior contribuição, devido à liberação de agentes cimentantes e o fornecimento de nutrientes para os micro-organismos do solo, que por sua vez, contribuíram para a agregação e estabilização das partículas do solo, aumentando o grau de floculação das argilas e reduzindo os teores de argila dispersa em água (PRADO, 2003).

Em relação às profundidades analisadas, percebe-se que houve aumento na quantidade de ADA em ambas as épocas analisadas, embora não tenha havido diferenças significativas entre elas. Pode ter ocorrido o fenômeno de eluviação da argila no perfil do solo em profundidade, entretanto isso não ocorreu de forma significativa entre todos os adubos utilizados no cultivo da cana-de-açúcar. Esta constatação está em acordo com Prado e Centurion (2001) em estudos conduzidos com cana-de-açúcar, os quais também encontraram eluviação da argila em profundidade no perfil do solo

cultivado com cana e adubado com dejetos, mas não sendo valores com diferenças significativas. Afirmam ainda que devido à mobilização e revolvimento do solo para implantação da monocultura é comum este aumento.

Em estudo conduzido por Manosso (2006), avaliando a degradação das propriedades físicas do Latossolo Vermelho distrófico, submetido a diferentes usos, verificou aumento da quantidade de argila dispersa em água em profundidade. Esse fato pode estar relacionado à destruição da matéria orgânica nos horizontes superficiais pelo constante revolvimento do solo durante a preparação para o plantio, e consequente destruição dos agregados, facilitando com isso, a transferência da argila dispersa das camadas superficiais para as mais profundas.

Ao analisar o efeito da presença ou ausência de gesso agrícola nos adubos, podem-se observar diferenças significativas tanto para o período chuvoso quanto para o seco, verificando redução dos valores de ADA quando adicionado gesso agrícola (Tabela 7). Este produto apresenta grande eficácia na redução do fenômeno de dispersão de argila no solo, conforme amplamente pesquisado. A dissociação do gesso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) libera o cátion (Ca^{2+}) e ânion (SO_4^{2-}) bivalentes com camadas de hidratação individual forma o que se chama pareamento iônico que, além da maior mobilidade no perfil do solo, também apresentam-se mais eficientes na compressão da dupla camada difusa (DCD), que ajuda no fenômeno de flocação das partículas do solo.

Estudos conduzidos por Prado (2003) confirmam que a aplicação de gesso em alguns solos melhora suas condições físicas. Esse efeito favorável é devido, basicamente, às substituições de cátions trocáveis monovalentes pelo cálcio (bivalente) e, em seguida à lixiviação dos íons monovalentes. À medida que o cálcio substitui o sítio monovalente, através da reação de troca catiônica, tem-se predomínio do Ca^{2+} no complexo de troca e predomínio de cátions de maior valência e aumento da concentração eletrolítica da solução e isto diminui a espessura da dupla camada difusa (DCD), e consequentemente maior flocação do solo. O autor ainda salienta que, quanto menor o afastamento da DCD, em valores absolutos, menor será a carga líquida negativa dos coloides, evitando, dessa maneira, repulsão eletrostática e, consequentemente, menor dispersão de argila.

Chaves e Rolim (1997) analisaram o efeito do cálcio sobre a permeabilidade de um solo aluvial, com 185 g kg^{-1} de argila, da região semiárida em laboratório. Os

autores observaram que todos os adubos com a adição de gesso agrícola, em relação à testemunha, provocaram diminuição no teor de ADA.

Outro fator importante que pode ter contribuído para esta redução de ADA no período seco, em julho, foi o maior crescimento das raízes de cana-de-açúcar promovendo maior aproximação das partículas de solo pela força mecânica. Existem evidências de que as raízes destas plantas em crescimento aceleram a agregação, tanto pela liberação de exsudados orgânicos, como pela compressão das partículas e remoção de água, favorecendo a coesão das partículas do solo (PALMEIRA et al., 1999).

4.2 - Grau de Floculação

Para o grau de floculação (GF), no período chuvoso, apresentado na Tabela 8, a análise de variância não revelou diferença estatística entre os diferentes tipos de adubos analisados (ANEXO 3C), apresentando a diferença das médias entre as profundidades com a presença e/ou ausência de gesso agrícola incorporado aos adubos.

Apesar de não haver diferença estatística entre os diferentes tipos de adubos, pôde-se verificar, de acordo com a Tabela 8, para o período chuvoso, que o GF foi maior entre os adubos com dejetos do que quando comparado com o adubo químico (AQ) (testemunha), destacando o adubo compostado (AC) com elevado valor de GF e consequentemente menor valor de ADA. Resultados semelhantes foram encontrados por Prado e Centurion (2001), em experimento conduzido em Latossolo Vermelho – Escuro de textura média, submetido ao cultivo contínuo com cana-de-açúcar, em Jaboticabal, SP.

Observa-se que para a mesma época de período chuvoso (Tabela 8), os adubos quando comparados com e sem a presença de gesso agrícola, diferiram estatisticamente, com maiores valores de GF com presença de gesso agrícola. Segundo Novais e colaboradores (2007) o gesso agrícola além de promover melhoria como agente condicionador do solo, favorece o aprofundamento e melhor distribuição das raízes das plantas pela redução dos impedimentos físicos do solo, como a compactação. Além do que foi observado neste experimento e pelos autores, observou-se também que os adubos com a presença do gesso agrícola foram favorecidos com maiores valores do grau de floculação, isso se dá pelo fato de o gesso possuir em sua composição cátions bivalentes como o cálcio (Ca^{2+}) de raio iônico grande que ajuda no processo de

flocação do solo, garantindo assim melhor estruturação e agregação do mesmo, reduzindo a dispersão da argila, que é um fator desagregante para os solos do cerrado.

TABELA 8. Valores médios de grau de flocação (GF) do solo cultivado com cana-de-açúcar, submetido a diferentes adubos com e sem gesso agrícola, em diferentes profundidades no período chuvoso

Adubos	GF (%)	
	Período Chuvoso	
	Média	
Compostado	35,51	a
Químico (MAP)	28,83	a
Cama de Frango	31,70	a
Cama de Peru	28,21	a
Esterco Bovino	33,58	a
DMS adub.		
Com gesso	36,34	a
Sem gesso	26,79	b
DMS gesso	7,81	
Profundidade		
0-25 cm	32,40	a
25-50 cm	30,73	a
DMS	6,28	
CV_a (%)¹	53,93	
CV_b (%)¹	43,55	

Adubos: AC: Adubo Compostado; AQ: Adubo Químico (testemunha), CF: Cama de Frango; CP: Cama de Peru; EB: Esterco Bovino, todos combinados com e sem gesso agrícola. DMS: Diferença Mínima Significativa; ¹CV_a e CV_b: Coeficientes de variação da parcela da subparcela, respectivamente. Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Observa-se que para a mesma época de período chuvoso (Tabela 8), os adubos quando comparados com e sem a presença de gesso agrícola, diferiram estatisticamente, com maiores valores de GF com presença de gesso agrícola. Segundo Novais e colaboradores (2007) o gesso agrícola, além de promover melhoria como agente condicionador do solo, favorece o aprofundamento e melhor distribuição das raízes das plantas pela redução dos impedimentos físicos do solo, como a compactação. Além do que foi observado neste experimento e pelos autores, observou-se também que os adubos com a presença do gesso agrícola foram favorecidos com maiores valores do grau de flocação, isso se dá pelo fato de o gesso possuir em sua composição cátions bivalentes como o cálcio (Ca^{2+}) que ajudam no processo de flocação do solo, garantindo assim melhor estruturação e agregação do mesmo, reduzindo a dispersão da argila, que é um fator desagregante para os solos do cerrado.

Para o período seco, segunda época de amostragem de solo (Tabela 9), percebe-se que houve diferença estatística apenas para a interação profundidade*gesso agrícola (ANEXO 5C). Quando as médias foram comparadas com a presença e ausência de gesso na mesma profundidade, não houve diferenças significativas ($P \geq 0,05$). Mas quando comparados entre profundidades diferentes os dados apresentaram diferenças estatísticas relevantes ($P \leq 0,05$), ocorrendo redução do GF em profundidade com valores médios de 26,81% para a camada de 0-25 e de 22,24% para profundidade de 25-50 cm no período seco. Este resultado favorável da adição de gesso agrícola ao adubo pode ser comprovado, pelo aumento do GF em subsuperfície, refletindo na maior estabilidade do solo.

TABELA 9. Valores médios de grau de floculação (GF) do solo cultivado com cana-de-açúcar, submetido a diferentes adubos com e sem gesso agrícola, em diferentes profundidades no período seco

Profundidade	GF (%)			
	Período Seco			
	Média			
	Com gesso		Sem gesso	
0-25 cm	27,83	aA	26,81	aA
25-50 cm	31,88	aA	22,24	bA
DMS_{gesso}	5,56	DMS_{prof,}	5,56	
CV_a (%)¹	33,06	CV_b (%)¹	31,66	

Adubos: AC: Adubo Compostado; AQ: Adubo Químico (testemunha), CF: Cama de Frango; CP: Cama de Peru; EB: Esterco Bovino, todos combinados com e sem gesso agrícola. DMS: Diferença Mínima Significativa; ¹CV_a e CV_b: Coeficientes de variação da parcela da subparcela, respectivamente. Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os valores de GF encontrados neste trabalho foram próximos dos valores encontrados por Costa (2005), em experimento conduzido em Latossolo Vermelho, sob pastagem adubada com camas de aviário em duas diferentes épocas (seco e chuvoso) em Uberlândia, MG.

4.3 - Densidade do Solo

As Tabelas 10 e 11 apresentam, respectivamente, os valores médios de densidade do solo (Ds) nas duas épocas avaliadas (chuvoso e seco). Estes valores não diferiram entre si para os diferentes tipos de adubos aplicados (ANEXO 4C e 6C), embora tenha

ocorrido diferença significativa com a presença e ausência de gesso para um mesmo adubo utilizado nas diferentes profundidades analisadas.

Os valores de Ds encontrados são altos, chegando a variar de 1,56 a 1,63 g cm⁻³ no período chuvoso (Tabela 10), com uma pequena redução no período seco (Tabela 11) de 1,53 a 1,57 g cm⁻³. Percebe-se que a densidade é maior nos solos cultivados com cana-de-açúcar, devido ao preparo convencional com o uso intensivo de implementos agrícolas e o tráfego excessivo de máquinas pesadas e também a classe textural que, de acordo com Kiehl (1985), apresenta menor estabilidade estrutural e menor agregação das partículas, o que favorece a compactação e o adensamento levando a maior densidade do solo. Outro fator relevante nos valores de Ds destacado pelo autor é a utilização de adubos orgânicos, que adequadamente utilizados favorece a redução da Ds, destacando os estercos palhosos, como os de equinos e bovinos como os mais eficientes quando comparados com os de aves.

TABELA 10. Valores médios de densidade do solo (Ds) do solo cultivado com cana-de-açúcar, submetido a diferentes adubos com e sem gesso agrícola, em diferentes profundidades no período chuvoso

Adubos	Ds (g cm ⁻³)				Média	
	Período Chuvoso					
	Com gesso		Sem gesso			
Compostado	1,62	aA	1,58	aA	1,60	
Químico (MAP)	1,62	aA	1,57	aA	1,60	
Cama de Frango	1,62	aA	1,56	aA	1,59	
Cama de Peru	1,56	aA	1,59	aA	1,58	
Esterco Bovino	1,57	aB	1,63	aA	1,60	
Média	1,60		1,59			
DMS adub.	0,08	DMS gesso	0,06			

Profundidade	Ds (g cm ⁻³)		
	Média Geral		
0-25 cm	1,62	A	
25-50 cm	1,56	b	
DMS prof.	0,03		
CV_a (%)¹	3,62	CV_b (%)¹	4,57

Adubos: AC: Adubo Compostado; AQ: Adubo Químico (testemunha), CF: Cama de Frango; CP: Cama de Peru; EB: Esterco Bovino, todos combinados com e sem gesso agrícola. DMS: Diferença Mínima Significativa; ¹CV_a e CV_b: Coeficientes de variação da parcela da subparcela, respectivamente. Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para a Tabela 11 percebe-se que apesar de os diferentes tipos de adubos não diferirem entre si, mas quando comparados com a presença e ausência de gesso agrícola

houve diferença estatística ($P \leq 0,05$) para o adubo de esterco bovino (EB) apresentando menores valores de Ds de $1,57 \text{ g cm}^{-3}$ com a presença de gesso em relação a $1,63 \text{ g cm}^{-3}$ sem gesso agrícola. Em relação às profundidades estudadas houve diferença estatística apresentando valor relativamente maior na camada superficial e menor valor na camada de 25-50 cm, estando em desacordo com os valores encontrados por Marcolin (2006) e por Centurion e colaboradores (2007) que afirmam que Ds aumenta com a profundidade do solo. Mas neste caso a Ds não aumentou com a profundidade, pode ser devido à matéria orgânica estar atuando até as profundidades próximas de 50 cm, pois no início do plantio foram abertos sulcos de aproximadamente 50 cm e incorporados os adubos o que pode ter favorecido a redução dos valores de Ds em profundidades.

Estes valores estão no limite superior considerado crítico para o desenvolvimento adequado da maioria das culturas de interesse econômico, segundo Segato e colaboradores (2006), que afirmam o desempenho das raízes da cana-de-açúcar ser prejudicado à medida que os índices de densidade do solo superam $1,2 \text{ g cm}^{-3}$.

Durante o período seco, 2º época de amostragem, (Tabela 11), foi possível verificar que os valores encontrados de Ds para os diferentes adubos, não diferiram estatisticamente (Tabela 11), mas pode ser relatado que no período chuvoso (Tabela 10), os valores de Ds foram maiores. Isso está relacionado à maior oferta de chuvas, com diversos ciclos de umedecimento e secagem, que acabam por promover certo empacotamento e adensamento no solo. Sua ocorrência é, pois a água ao infiltrar vai depositando partículas de diferentes tamanhos nos espaços vazios do solo, o que contribui para o aumento da densidade no período chuvoso.

Ao analisar a tabela 11, período seco é possível verificar diferenças significativas ($P \leq 0,05$) apenas para as diferentes profundidades (ANEXO 6C) apresentando menores valores para a profundidade de 25-50 cm, fato este semelhante ao encontrado e discutido para ao período chuvoso (Tabela 10).

As tabelas 10 e 11 permitem visualizar ainda que a variabilidade estimada através do coeficiente de variação (CV) é considerada baixo para a Ds em ambos os períodos amostrados. O baixo coeficiente de variação indica que ocorreu boa repetibilidade e pequenas oscilações dos valores de Ds para os diferentes tipos de adubos e outros fatores analisados.

De acordo com Warrick e Nielsen (1980), *apud* Oliveira et al. (1999), valores de $CV \leq 12\%$ são considerados baixos, já que a Ds é um atributo que possui ampla taxa de variação no solo em função da sua estrutura e manejo do solo.

TABELA 11. Valores médios de densidade do solo (Ds) do solo cultivado com cana-de-açúcar, submetido a diferentes adubos com e sem gesso agrícola, em diferentes profundidades no período seco

Adubos	Ds (g cm^{-3})	
	Período Seco	
	Média	
Compostado	1,55	a
Químico (MAP)	1,54	a
Cama de Frango	1,55	a
Cama de Peru	1,55	a
Esterco Bovino	1,55	a
DMS adub.	0,09	
Com gesso	1,54	a
Sem gesso	1,56	a
DMS gesso	0,04	
Profundidade		
0-25 cm	1,57	a
25-50 cm	1,53	b
DMS prof.	0,04	
CV_a (%)¹	5,90	
CV_b (%)¹	5,09	

Adubos: AC: Adubo Compostado; AQ: Adubo Químico (testemunha), CF: Cama de Frango; CP: Cama de Peru; EB: Esterco Bovino, todos combinados com e sem gesso agrícola. DMS: Diferença Mínima Significativa; ¹CV_a e CV_b: Coeficientes de variação da parcela da subparcela, respectivamente. Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.4 - Estabilidade de agregados em água por via úmida

Os valores da estabilidade de agregados, para os dois períodos analisados, geralmente representados pelo diâmetro médio geométrico (DMG) estão apresentados nas Tabelas 12 e 13.

A Tabela 12 apresenta os valores médios de DMG para o período chuvoso, observa-se que ocorreu diferença significativa de interação dupla ($P \leq 0,05$), ou seja, a presença e/ou ausência de gesso agrícola afetou significativamente os tipos de adubos (ANEXO 3C).

Nota-se que os valores de DMG variaram entre 0,25 a 0,31 mm, destacando o adubo com esterco bovino na presença de gesso agrícola (EB+G), com o maior diâmetro médio geométrico. Esta informação encontra respaldo na literatura científica que informa que o material orgânico de maior relação C/N são mais efetivos em proporcionar e manter agregados maiores. Em relação à comparação dos adubos com a

presença e ausência de gesso, percebe-se diferença estatística apenas para os adubos de cama de peru (CP+G) e EB+G. Apresentando maiores valores de DMG quando comparados com os adubos ausentes de gesso agrícola.

TABELA 12. Valores médios de diâmetro médio geométrico (DMG) de agregados do solo cultivado com cana-de-açúcar, submetido a diferentes adubos com e sem gesso agrícola, em diferentes profundidades no período chuvoso

Adubos	DMG (mm)				
	Período Chuvoso				Média
	c/ gesso		s/ gesso		
Compostado	0,25	bA	0,28	aA	0,27
Químico (MAP)	0,30	aA	0,29	aA	0,29
Cama de Frango	0,25	bA	0,27	aA	0,26
Cama de Peru	0,28	abA	0,26	aB	0,27
Esterco Bovino	0,31	aA	0,26	aB	0,29
Média	0,28		0,27		
DMS_{adub.}	0,04	DMS_{gesso}	0,03		

Adubos	DMG (mm)			Média	
	Profundidade (cm)				
	0-25	25-50			
Compostado	0,24	aB	0,30	abA	
Químico (MAP)	0,27	aB	0,32	aA	
Cama de Frango	0,25	aA	0,27	abA	
Cama de Peru	0,27	aA	0,27	bA	
Esterco Bovino	0,28	aA	0,29	abA	
Média	0,26		0,29		
DMS_{adub.}	0,04	DMS_{prof,}	0,03		
CV_a (%)¹	9,21	CV_b (%)¹	10,11		

Adubos: AC: Adubo Compostado; AQ: Adubo Químico (testemunha), CF: Cama de Frango; CP: Cama de Peru; EB: Esterco Bovino, todos combinados com e sem gesso agrícola. DMS: Diferença Mínima Significativa; ¹CV_a e CV_b: Coeficientes de variação da parcela da subparcela, respectivamente. Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Comparando o DMG nas profundidades de 0-25 e 25-50 (Tabela 12), observam-se diferenças significativas entre os adubos apenas para a profundidade de 25-50 cm, apresentando os maiores valores de DMG em relação à profundidade superficial analisada. Os destaques são para o adubo compostado (AC) e o adubo químico (AQ) que apresentaram diferenças estatísticas entre as profundidades e os maiores valores encontrados em subsuperfície de 0,30 e 0,32 mm respectivamente.

Analizando a Tabela 13, período seco, os valores obtidos para os diferentes tipos de adubos não apresentaram diferença estatística (ANEXO 5C) tanto para a presença/ausência gesso para as profundidades analisadas. Os valores de DMG para o

período seco apresentaram pequena variação entre os diferentes tipos de adubos utilizados, ficando entre 0,25 a 0,27 mm quando comparado ao período chuvoso que apresentaram maiores variações significativas, com valores variando entre 0,25 a 0,31 mm.

TABELA 13. Valores médios de diâmetro médio geométrico (DMG) de agregados do solo cultivado com cana-de-açúcar, submetido a diferentes adubos com e sem gesso agrícola, em diferentes profundidades no período seco

Adubos	DMG (mm)	
	Período Seco	Média
Compostado	0,25	a
Químico (MAP)	0,26	a
Cama de Frango	0,27	a
Cama de Peru	0,26	a
Esterco Bovino	0,26	a
DMS_{adub.}	0,02	
Com gesso	0,26	a
Sem gesso	0,25	a
DMS_{gesso}	0,01	
Profundidade		
0-25 cm	0,25	a
25-50 cm	0,26	a
DMS_{prof.}	0,01	
CV_a (%)¹	6,64	
CV_b (%)¹	9,29	

Adubos: AC: Adubo Compostado; AQ: Adubo Químico (testemunha), CF: Cama de Frango; CP: Cama de Peru; EB: Esterco Bovino, todos combinados com e sem gesso agrícola. DMS: Diferença Mínima Significativa; ¹CV_a e CV_b: Coeficientes de variação da parcela da subparcela, respectivamente. Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Maiores variações de DMG apresentadas para período chuvoso (Tabela 12) pode ser comprovado pelo maior valor do coeficiente de variação (CV) quando comparado ao período seco. Estes valores estão em acordo com a classificação proposta por Warrick e Nielsen (1980), relata que os agregados < 1mm apresentam valores mais alto de CV (>24%), do que para os agregados > 2mm, classificado como médio (entre 12 e 24%), e para DMG <12% como baixo.

Com base no relato do autor, pôde-se verificar que os valores de CV encontrados para o DMG, são classificados como baixos (<12%), ou seja, a baixa variabilidade entre

os números de repetições foi suficiente para indicar uma boa representatividade da área analisada.

Observando as épocas de amostragem, verifica-se que a amostragem feita no período chuvoso (Tabela 12), apresentou os maiores valores de DMG para a maioria dos tipos de adubação na presença de gesso agrícola na profundidade de 25-50 cm, quando comparados com o período seco (Tabela 13).

Silva (2008) e Costa (2005), em experimentos conduzidos na região do Triângulo Mineiro em duas épocas distintas, chuvoso e seco, apresentaram valores que estão em desacordo com os valores encontrados neste estudo, pois os maiores valores encontrados por estes pesquisadores foram para o período seco, na segunda amostragem.

Os maiores valores de DMG encontrados para o período chuvoso, ocorreu pelo fato da primeira amostragem ter sido efetuada 8 meses após o plantio da cana-de-açúcar, portanto a enorme desagregação promovida pela intensiva mecanização do solo já encontra-se próximo a um novo ponto de equilíbrio da original devido à atividade biológica e climática da região. Outro fator que pode ter contribuído para uma maior recomposição da estrutura do solo, foi maior atividade biológica, com liberação de nutrientes provenientes da adubação com dejetos orgânicos. Após certo tempo os adubos orgânicos liberam para a planta a maioria dos nutrientes de forma lenta e equilibrada. A atividade biológica tanto da planta como de microorganismo promove também uma liberação de exsudados e excreções que funcionam como agente cimentantes das partículas de solo proporcionando maior agregação.

Outros atributos do solo analisados nesta pesquisa que possuem relação direta com a estabilidade dos agregados são a densidade do solo, porosidade total e matéria orgânica do solo (Tabelas 10, 11, 17, 18 e 19). Os maiores valores encontrados de Pt e GF neste experimento a exemplo do DMG ocorreram na profundidade de 25-50 cm, com os adubos na presença de gesso agrícola, correspondendo consequentemente aos menores valores de Ds. Como já referenciado, isto ocorre devido à intensa atividade biológica que os resíduos orgânicos promovem no solo, a contribuição do gesso agrícola também favoreceu maiores DMG em subsuperfície. Para o caso do gesso, que funciona como condicionador do solo em maiores profundidades, este favoreceu a flocação do solo e o melhor crescimento das raízes de cana-de-açúcar, consequentemente aumentos dos valores de agregados e bem como uma maior contribuição para a estabilização dos mesmos no solo.

De acordo com Fontes e colaboradores (1995) citado por Albuquerque e colaboradores (2003), as alterações nos atributos físicos dos solos como os Latossolos em especial na camada mais rica em matéria orgânica, podem ser provocadas pela quebra dos agregados por efeito mecânico, causado pelo revolvimento do solo no início do preparo para receber a cultura.

4.5 - Macroporosidade, Micro e Porosidade total do solo

4.5.1 – Macroporosidade do Solo

A Tabela 14 apresenta os valores médios de macroporosidade (Ma) para o período chuvoso, evidenciando que ocorreu interação tripla entre tipos de adubos*profundidade*com/sem gesso (ANEXO 4C).

Observa-se que os valores de Ma variaram significativamente em função dos adubos tanto na presença como na ausência de gesso agrícola para a profundidade de 0-25 cm. Os valores com variação entre $0,06$ e $0,17\text{ m}^{-3}$, evidencia limite crítico restritivo, $0,06\text{ m}^{-3}$ para o adubo esterco bovino (EB) sem gesso. Segundo Araújo et al. (2004), o valor mínimo do espaço ocupado pelo ar deve ser de $0,10\text{ m}^{-3}$, para que a cultura possa ter desenvolvimento radicular satisfatório. Quando o gesso foi agregado aos adubos, percebe-se, que o EB com gesso contrariamente ao adubo EB sem gesso, foi o que proporcionou a maior quantidade de Ma na camada de 0-25 cm, entretanto não diferindo significativamente dos adubos de CF e CP, mas com diferença significativa entre os demais tipos de adubos.

Analizando a profundidade de 25-50 cm (Tabela 14), percebe-se, aumento significativo de Ma entre os adubos, em relação à camada superficial. A presença e ausência de gesso aos adubos também apresentou variação significativa, mas não distribuído de maneira uniforme, sendo que a presença do gesso aumentou a quantidade de Ma.

Analizando a mesma Tabela 14, para os adubos com e sem gesso agrícola, verifica-se diferenças significativas entre as profundidades analisadas. A quantidade de Ma foi maior na profundidade de 25-50 cm, com valores de $0,12$ a $0,17\text{ m}^{-3}$, quando comparado com $0,06\text{ m}^{-3}$ a $0,14\text{ m}^{-3}$ da profundidade de 0-25 cm.

Em relação ao efeito do gesso agrícola, apesar de significativo, não foram observados seus efeitos em relação à maioria dos adubos para as diferentes

profundidades, pois os valores de Ma variaram independentemente do adubo ao longo no perfil do solo.

TABELA 14. Valores médios de macroporosidade (Ma) do solo cultivado com cana-de-açúcar, submetido a diferentes adubos com e sem gesso agrícola, em diferentes profundidades no período chuvoso

Prof. (cm)	Adubos	Ma ($m^3 m^{-3}$)			Média	
		Período Chuvoso		Média		
		Com gesso	Sem gesso			
0-25	Compostado	0,10	bA	0,11	aA	
	Químico (MAP)	0,10	bA	0,12	aA	
	Cama de Frango	0,11	abA	0,10	aA	
	Cama de Peru	0,11	abA	0,11	aA	
	Esterco Bovino	0,14	aA	0,06	bB	
25-50	Compostado	0,10	bB	0,15	abA	
	Químico (MAP)	0,15	aA	0,13	bB	
	Cama de Frango	0,16	aA	0,17	aA	
	Cama de Peru	0,16	aA	0,14	abB	
	Esterco Bovino	0,11	bA	0,12	bA	
Média		0,13		0,11		
DMS adub.		0,034	DMS gesso	0,024		

Gesso	Adubos	Ma ($m^3 m^{-3}$)			Média	
		Profundidade		Média		
		0-25 cm	25-50 cm			
Com	Compostado	0,10	A	0,10	A	
	Químico (MAP)	0,10	B	0,15	A	
	Cama de Frango	0,11	B	0,16	A	
	Cama de Peru	0,11	B	0,16	A	
	Esterco Bovino	0,14	A	0,11	B	
Sem	Compostado	0,11	B	0,15	A	
	Químico (MAP)	0,12	A	0,13	A	
	Cama de Frango	0,10	B	0,17	A	
	Cama de Peru	0,11	B	0,14	A	
	Esterco Bovino	0,06	B	0,12	A	
Média		0,11		0,13		
DMS adub.		0,03	DMS prof.	0,02		
CV_a (%)¹		13,38	CV_b (%)¹	13,64		

Adubos: AC: Adubo Compostado; AQ: Adubo Químico (testemunha), CF: Cama de Frango; CP: Cama de Peru; EB: Esterco Bovino, todos combinados com e sem gesso agrícola. DMS: Diferença Mínima Significativa; ¹CV_a e CV_b: Coeficientes de variação da parcela da subparcela, respectivamente. Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para o período seco, a Tabela 15 evidencia que as estatísticas dos dados para a Ma na profundidade de 0-25 cm apresentaram interações significativas entre os adubos, tanto na presença como na ausência de gesso agrícola (ANEXO 6C).

Percebe-se que, para o período seco, os valores significativos de Ma foram maiores do que quando comparados ao período chuvoso (Tabela 14), sendo relativamente menores na camada de 0-25 cm do que quando analisada ao longo do perfil.

TABELA 15. Valores médios de macroporosidade (Ma) do solo cultivado com cana-de-açúcar, submetido a diferentes adubos com e sem gesso agrícola, em diferentes profundidades no período seco

Prof. (cm)	Adubos	Ma ($m^3 m^{-3}$)			Média	
		Período Seco		Média		
		Com gesso	Sem gesso			
0-25	Compostado	0,10	bA	0,12	abA	
	Químico (MAP)	0,17	aA	0,16	aA	
	Cama de Frango	0,11	bB	0,15	aA	
	Cama de Peru	0,13	abA	0,10	bB	
	Esterco Bovino	0,16	aA	0,09	bB	
25-50	Compostado	0,14	aA	0,14	aA	
	Químico (MAP)	0,14	aA	0,14	aA	
	Cama de Frango	0,14	aA	0,13	aA	
	Cama de Peru	0,14	aA	0,15	aA	
	Esterco Bovino	0,15	aA	0,12	aA	
Média		0,13		0,13		
DMS_{adub.}		0,04	DMS_{gesso}	0,03		

Gesso	Adubos	Ma ($m^3 m^{-3}$)			Média	
		Profundidade		Média		
		0-25 cm	25-50 cm			
Com	Compostado	0,10	B	0,14	A	
	Químico (MAP)	0,17	A	0,14	A	
	Cama de Frango	0,11	A	0,14	A	
	Cama de Peru	0,13	A	0,14	A	
	Esterco Bovino	0,16	A	0,15	A	
Sem	Compostado	0,12	A	0,14	A	
	Químico (MAP)	0,16	A	0,14	A	
	Cama de Frango	0,15	A	0,13	A	
	Cama de Peru	0,10	B	0,15	A	
	Esterco Bovino	0,09	B	0,12	A	
Média		0,13		0,14		
DMS_{adub.}		0,04	DMS_{prof.}	0,03		
CV_a (%)¹		19,00	CV_b (%)¹	15,62		

Adubos: AC: Adubo Compostado; AQ: Adubo Químico (testemunha), CF: Cama de Frango; CP: Cama de Peru; EB: Esterco Bovino, todos combinados com e sem gesso agrícola. DMS: Diferença Mínima Significativa; ¹CV_a e CV_b: Coeficientes de variação da parcela da subparcela, respectivamente. Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os adubos, cujos valores foram significativos correspondem a CF, CP e EB, sendo que o EB embora não tenha diferido do AQ, foi significativamente maior do que os outros adubos orgânicos, com valor de Ma de $0,16\text{ m}^3\text{ m}^{-3}$ na presença de gesso e $0,09\text{ m}^3\text{ m}^{-3}$ na ausência do gesso agrícola incorporado ao adubo (Tabela 15). Esta constatação evidencia novamente a importância do gesso quando em mistura com o esterco bovino.

Para a presença e/ou ausência de gesso agrícola aos adubos, comparadas às diferentes profundidades (Tabela 15), verifica-se que com a presença do gesso agrícola, os valores de Ma foram relativamente maiores e mais estáveis do que sem a presença de gesso para a profundidade de 25-50 cm. Para as diferentes profundidades, o adubo compostado com gesso (AC+G) apresentou estatisticamente menor quantidade de Ma para a profundidade de 0-25 cm. Na ausência de gesso agrícola ao adubo, a CP e EB, foram os que apresentaram menores valores na profundidade de 25-50 cm.

Valores relativamente maiores no período seco quando comparado com a época chuvosa, podem estar relacionados com a maior facilidade de compactação e/ou adensamento do período chuvoso, devido à influência da água na manifestação das forças de adesão e coesão, as quais têm influência direta no contato mais íntimo da partícula que compõe a agregação do solo ocorrendo uma redução dos seus valores. Segundo Kiehl, (1979) a macroporosidade são poros com diâmetros maiores que 0,05 mm, responsáveis pela aeração e infiltração de água no solo. Os dados da Tabela 14 permitem afirmar que o manejo da cultura no período chuvoso promoveu alterações na estrutura, com aumento da massa de partículas de solo por unidade de volume (Tabela 10), diminuindo, portanto, os espaços porosos ocupados pelos Ma e aumentando assim a microporosidade.

Na fase inicial, situada no período chuvoso (Tabela 14), os valores de Ma foram comprometidos pelo crescimento radicular da cultura da cana-de-açúcar, fatores climáticos e de preparo inicial intensivo do solo para implantação da cultura, com maior quebra dos agregados, contribuindo, assim, para os menores valores de Ma encontrados na camada superficial. Não sendo evidenciado no período seco (Tabela 15), justificando o aumento Ma neste período.

Para a profundidade de 25-50 cm não foram observados diferenças significativas para os diferentes adubos tanto na presença quanto na ausência de gesso agrícola.

As tabelas 14 e 15 permitem ainda avaliar, que os coeficientes de variação para ambos os períodos podem ser classificados como médios ($>12\%$) de acordo com a

proposta de Warrick e Nielsen 1980. Verificando maiores valores do CV para a 2º amostragem, ou seja, no período seco do ano, tanto na profundidade de 0- 25 cm quanto de 25-50 cm.

4.5.2 – Microporosidade do Solo

Análise da Tabela 16 permite verificar que os valores das médias de microporosidade (Mi) para o período chuvoso e seco, não apresentaram diferença significativa entre as variáveis independentes estudadas (adubo, gesso agrícola e profundidade).

TABELA 16. Valores médios de microporosidade (Mi) do solo cultivado com cana-de-açúcar, submetido a diferentes adubos com e sem gesso agrícola, profundidades e períodos distintos de amostragens

Adubos	Mi ($m^3 m^{-3}$)				
	Período Chuvoso		Período Seco		
	Média		Média		
Compostado	0,23	a	0,25	a	
Químico (MAP)	0,23	a	0,25	a	
Cama de Frango	0,23	a	0,24	a	
Cama de Peru	0,23	a	0,24	a	
Esterco Bovino	0,24	a	0,25	a	
DMS adub.	0,03		0,03		
Com gesso	0,23	a	0,25	a	
Sem gesso	0,23	a	0,24	a	
DMS gesso	0,01		0,01		
Profundidade					
0-25 cm	0,23	a	0,24	a	
25-50 cm	0,23	a	0,25	a	
DMS prof.	0,01		0,01		
CV_a (%)¹	10,59		10,4		
CV_b (%)¹	11,87		6,68		

Adubos: AC: Adubo Compostado; AQ: Adubo Químico (testemunha), CF: Cama de Frango; CP: Cama de Peru; EB: Esterco Bovino, todos combinados com e sem gesso agrícola. DMS: Diferença Mínima Significativa; ¹CV_a e CV_b: Coeficientes de variação da parcela da subparcela, respectivamente. Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Apesar das médias de Mi, apresentadas nesta tabela não serem valores de interações significativas (ANEXO 4C, 6C) para o período chuvoso e seco, percebe-se incremento muito pequeno dos valores de microporosidade no período seco, que variou

de 0,24 a 0,25 m³ m⁻³ em relação ao período chuvoso (1º amostragem) de 0,23 a 0,24 m³ m⁻³. Observa-se então uma grande estabilidade dos valores encontrados para Mi. Independente das considerações estatísticas observa-se também, um ligeiro aumento nas médias do Mi em relação aos adubos que receberam gesso agrícola, principalmente na profundidade de 25-50 cm, evidenciando assim seu efeito de pareamento iônico e movimentação no perfil do solo. Cabe salientar também, que se trata de um solo classificado como Franco-argilo-arenosa, de textura média, portanto com menor tendência a formação de grande quantidade de microporos.

Os dados da Tabela 14 e 15 demonstram que contrariamente em relação à macroporosidade, a Mi (Tabela 16) é um atributo físico menos sujeito às variações pelo preparo intensivo e manejo do solo, mais sim, variando de acordo com as propriedades mineralógicas do solo como a textura (SILVA; KAY, 1997).

4.5.3 – Porosidade total do solo

A análise de variância para o atributo porosidade do solo indica interação significativa para os diferentes tipos de adubos*gesso*profundidade (ANEXO 4C, 6C). Desta forma serão discutidas as variáveis independentes para os fatores analisados no experimento.

A tabela 17 evidencia que os valores médios de porosidade total (Pt) para o período chuvoso na profundidade de 0-25 cm não apresentaram diferença estatística ($P \geq 0,05$) entre os tipos de adubos na presença de gesso agrícola, mas destacou-se significativamente a adubação com esterco bovino (EB+G) com gesso, apresentando o maior valor de Pt de 0,37 m³ m⁻³ em relação aos demais adubos na profundidade de 0-25 cm. Analisando ainda a mesma profundidade com os adubos na ausência de gesso agrícola, pode-se observar diferença significativa entre os adubos, com maior valor de Pt para o adubo químico sem gesso (AQ) de 0,36 m³ m⁻³. Em relação à presença e ausência de gesso agrícola nos diferentes tipos de adubos, apresentou diferença significativa apenas para o EB na profundidade de 0-25 cm.

TABELA 17. Valores médios de Porosidade total (Pt) do solo cultivado com cana-de-açúcar, submetido a diferentes adubos com e sem gesso agrícola, em diferentes profundidades no período chuvoso.

Prof. (cm)	Adubos	Pt ($m^3 m^{-3}$)			Média	
		Período Chuvisco		Média		
		Com gesso	Sem gesso			
0-25	Compostado	0,32	aA	0,34	abA	
	Químico (MAP)	0,34	aA	0,36	aA	
	Cama de Frango	0,35	aA	0,33	abA	
	Cama de Peru	0,34	aA	0,34	abA	
	Esterco Bovino	0,37	aA	0,30	bB	
25-50	Compostado	0,33	bcB	0,38	aA	
	Químico (MAP)	0,37	abA	0,35	aA	
	Cama de Frango	0,40	aA	0,39	aA	
	Cama de Peru	0,39	aA	0,36	aA	
	Esterco Bovino	0,31	cB	0,40	aA	
Média		0,36		0,33		
DMS_{adub.}		0,06	DMS_{gesso}	0,041		

Gesso	Adubos	Pt ($m^3 m^{-3}$)			Média	
		Profundidade		Média		
		0-25 cm	25-50 cm			
Com	Compostado	0,32	A	0,33	A	
	Químico (MAP)	0,34	A	0,37	A	
	Cama de Frango	0,35	B	0,40	A	
	Cama de Peru	0,34	B	0,39	A	
	Esterco Bovino	0,37	A	0,31	B	
Sem	Compostado	0,34	B	0,38	A	
	Químico (MAP)	0,36	A	0,37	A	
	Cama de Frango	0,33	B	0,39	A	
	Cama de Peru	0,34	A	0,36	A	
	Esterco Bovino	0,30	B	0,40	A	
Média		0,35		0,35		
DMS_{adub.}		0,06	DMS_{prof.}	0,04		
CV_a (%)¹		8,31	CV_b (%)¹	13,64		

Adubos: AC: Adubo Compostado; AQ: Adubo Químico (testemunha), CF: Cama de Frango; CP: Cama de Peru; EB: Esterco Bovino, todos combinados com e sem gesso agrícola. DMS: Diferença Mínima Significativa; ¹CV_a e CV_b: Coeficientes de variação da parcela da subparcela, respectivamente. Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para a profundidade de 25-50 cm observa-se, que os diferentes adubos analisados com a presença de gesso apresentaram diferença estatística entre si, destacando a adubação com cama de frango e de peru (CF, CP), apresentando os maiores valores de Pt ($0,40$ e $0,39 m^3 m^{-3}$). Percebe-se, (Tabela 17) que o esterco bovino (EB) apresentou comportamento bem distinto em ambas as profundidades estudadas, com o maior valor na presença de gesso na profundidade de 0-25 e menor valor para a

profundidade de 25-50 cm e para a ausência de gesso agrícola na profundidade de 25-50 cm o maior valor encontrado. A maior porosidade total de $0,40 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, encontrada pelo adubo de cama de frango com gesso agrícola (CF+G) na camada subsuperficial, deve-se a rápida decomposição e o possível efeito do gesso agrícola na melhoria do estado nutricional nesta profundidade, condicionando assim um melhor desenvolvimento e morte das raízes secundárias da cana-de-açúcar.

Analizando a tabela 17, quando comparados com a presença e ausência de gesso agrícola nos adubos em diferentes profundidades, percebe-se que a presença de gesso agrícola nos diferentes adubos apresentou valores significativos ($P \leq 0,05$) para a Pt. Para a presença de gesso agrícola nos diferentes adubos analisados, verificam-se maiores valores de Pt na profundidade de 25-50 cm para cama de peru (CP) e cama de frango (CF) e uma redução na de 0-25 cm, sendo o esterco bovino na presença de gesso (EB+G) exceção, apresentando maior valor de Pt na profundidade de 0-25 e a menor de 25-50 cm.

Na ausência do gesso agrícola misturado ao adubo, comparando as duas profundidades avaliadas (Tabela 17), os adubos com dejetos apresentaram diferença significativa em relação ao adubo químico (testemunha), e maiores valores de Pt em subsuperfície comparativamente à camada superficial com exceção da CP.

Verifica-se que para o período chuvoso (Tabela 17), os valores de Pt variam de $0,30$ a $0,40 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, valores estes aquém da quantidade de poros total considerada ideal para o desenvolvimento das plantas que, segundo Kiehl (1985a) deve estar em torno $0,50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ou 50% em volume.

Embora os valores encontrados nesta pesquisas não sejam considerados ideais, eles se encontram dentro da faixa observada para a maioria dos solos cultivados, conforme é referenciado por Hillel (1982), o qual destaca que em solos minerais o mais comum é situar-se entre $0,30$ a $0,60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$.

Valores significativamente baixos de Pt para o período chuvoso comparativamente ao período seco podem ocorrer por diversos fatores, dentre os quais cabe destacar: movimentação intensa do solo pelo preparo inicial, relativamente recente, densidade do solo inicialmente elevada e textura média.

Segundo Falleiro e colaboradores (2003), o aumento na porosidade tende a aumentar conforme aumentam o tempo decorrido entre o preparo, condições climáticas e a amostragem do solo.

Ao analisar a tabela 18, para o período seco (2º época), verifica-se que os valores médios de Pt, diferiram estatisticamente entre si ($P \leq 0,05$). Foi possível constatar o aumento, mais não de maneira uniforme, dos valores de Pt para os adubos com presença de gesso agrícola em relação ao período chuvoso (Tabela 17), com maiores valores variando de 0,35 a 0,41 $m^3 m^{-3}$ (Tabela 18).

TABELA 18. Valores médios de Porosidade total (Pt) do solo cultivado com cana-de-açúcar, submetido a diferentes adubos com e sem gesso agrícola, em diferentes profundidades no período seco

Adubos	Pt ($m^3 m^{-3}$)				Média	
	Período Seco					
	Com gesso	Sem gesso				
Compostado	0,36	bA	0,38	abA	0,37	
Químico (MAP)	0,40	aA	0,39	aA	0,40	
Cama de Frango	0,37	abA	0,38	abA	0,38	
Cama de Peru	0,37	abA	0,37	abA	0,37	
Esterco Bovino	0,40	aA	0,35	bB	0,37	
Média	0,38		0,37			
DMS_{adub.}	0,04	DMS_{prof.}	0,03			

Adubos	Pt ($m^3 m^{-3}$)				Média	
	Profundidade (cm)					
	0-25	25-50				
Compostado	0,35	bB	0,39	aA	0,37	
Químico (Map)	0,41	aA	0,39	aA	0,40	
Cama de Frango	0,37	bA	0,38	aA	0,38	
Cama de Peru	0,35	bB	0,39	aA	0,37	
Esterco Bovino	0,36	bA	0,38	aA	0,37	
Média	0,37		0,39			
DMS_{adub.}	0,04	DMS_{prof.}	0,03			
CV_a (%)²	6,70	CV_b (%)²	6,51			

Adubos: AC: Adubo Compostado; AQ: Adubo Químico (testemunha), CF: Cama de Frango; CP: Cama de Peru; EB: Esterco Bovino, todos combinados com e sem gesso agrícola. DMS: Diferença Mínima Significativa; ¹CV_a e CV_b: Coeficientes de variação da parcela da subparcela, respectivamente. Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em relação aos diferentes adubos na presença e ausência de gesso agrícola, (Tabela 18) observa-se diferença estatística entre si, destacando positivamente o efeito do EB e do AQ com gesso em relação aos demais adubos. Quanto à presença e ausência de gesso agrícola, percebe-se que houve diferença estatística apenas para o adubo de EB com gesso, apresentando o maior valor de Pt. Isso se dá pelo fato de o adubo orgânico contribuir na melhoria da porosidade do solo seja favorecendo a atividade biológica ou

mesmo seu efeito direto, juntamente com a contribuição do gesso agrícola, melhorando as condições físicas dos agregados no solo.

Para as profundidades analisadas, verifica-se diferença estatística (adubo*profundidade) (ANEXO 6C), como mostra a tabela 18. Observando os valores encontrados, percebe-se que houve diferença significativa apenas para os adubos na profundidade de 0-25 cm. Os valores de Pt do solo com os diferentes adubos apresentaram pequena diferença entre eles, dando destaque para o adubo químico (AQ) que apresentou o maior valor de porosidade total na profundidade superficial de $0,41\text{ m}^3\text{ m}^{-3}$. Em relação à profundidade de 25-50 cm os valores se mostraram muito próximos, o que pode ser confirmado pelo baixo CV quando comparado com a época chuvosa.

Com base nos critérios de Warrick e Nielsen (1980), citados para classificar o coeficiente de variação (CV) como: baixo – $\text{CV} < 12\%$, médio – $12\% < \text{CV} < 60\%$, alto – $\text{CV} \geq 60\%$ verificou-se que os CVs da porosidade total para a época chuvosa, apresentaram taxa considerada média, e no período seco os valores reduziram para taxa classificada como baixa, ou seja, o baixo coeficiente de variação indica que ocorreu boa repetibilidade para os diferentes tipos de adubos e outros fatores analisados.

4.6 - Matéria Orgânica do Solo

Para as quantidades de matéria orgânica do solo (MOS), no período chuvoso e seco apresentada na Tabela 19, a análise de variância não revelou diferença estatística quando analisados suas interações, portanto apresentando apenas diferença significativa para interações simples (ANEXO 3C e 5C).

Observa-se que no período chuvoso (Tabela 19), os diversos adubos utilizados para a adubação, levaram o solo a apresentar diferentes quantidades de MOS no perfil de 0-50 cm, com maior valor para o adubo químico (AQ) e menor valor para a cama de frango (CF). Maiores valores de MOS para o uso de fertilizantes químicos, pode estar relacionado com o efeito salino e até de baixo valor de pH no local da aplicação. Estes condicionantes podem reduzir a atividade biológica do solo e o menor valor de MOS para o uso da cama de frango está relacionado com a baixa relação C/N deste dejetos. Sua aplicação ao solo estimula o ponto de crescimento da população microbiana, levando a uma degradação mais rápida e intensa da matéria orgânica do solo.

Os dados estatísticos da Tabela 19, indicam ainda que os teores de MOS foram afetados pela presença e ausência de gesso agrícola e pela profundidade de amostragem, com aumento na camada de 0-25 comparativamente a 25-50 cm. Os valores relativamente elevados do coeficiente de variação indicam serem as quantidades de MOS muito dinâmicos, dependendo dos diferentes tipos de adubos orgânicos utilizados. No caso de dejetos de aves com relação C/N baixa, a decomposição total da MOS com liberação de CO₂ ocorre mais rapidamente, proporcionando um valor estável de matéria orgânica. Por outro lado, no caso de dejeto de bovino, alimentados com a braquiária a relação C/N é mais elevada. Nesta situação a decomposição ocorre mais lentamente, assim o coeficiente de variação tende a ser menor após longo período da aplicação, enquanto os teores de matéria orgânica tendem a serem maiores.

TABELA 19. Valores médios de Matéria Orgânica do solo (MOS) cultivado com cana-de-açúcar, submetido a diferentes adubos com e sem gesso agrícola, profundidades e períodos distintos de amostragens

Adubos	MOS (g cm ⁻³)	
	Período Chuvoso	
	Média	Média
Compostado	9,39	abc
Químico (MAP)	10,14	a
Cama de Frango	8,36	c
Cama de Peru	9,76	ab
Esterco Bovino	8,47	bc
DMS_{adub.}	1,34	1,69
Com gesso	9,04	a
Sem gesso	9,40	a
DMS_{gesso}	0,60	0,75
Profundidade		
0-25 cm	9,49	a
25-50 cm	8,95	a
DMS_{prof.}	0,78	0,58
CV_a (%)¹	14,08	14,96
CV_b (%)¹	18,53	11,53

Adubos: AC: Adubo Compostado; AQ: Adubo Químico (testemunha), CF: Cama de Frango; CP: Cama de Peru; EB: Esterco Bovino, todos combinados com e sem gesso agrícola. DMS: Diferença Mínima Significativa; ¹CV_a e CV_b: Coeficientes de variação da parcela da subparcela, respectivamente. Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em relação às quantidades de MOS no período seco, ou seja, no mês de julho, observou-se de acordo com a Tabela 19, que não ocorreram variações significativas ($P \geq 0,05$) para os diferentes fatores estudados em relação aos tipos de adubos utilizados com a presença e/ou ausência de gesso agrícola nas diferentes profundidades para a estação seca. Contudo, constatou-se haver, ligeiramente, maiores valores de MOS para o período seco do ano. Isso se dá possivelmente ao déficit hídrico reduzindo a atividade microbiológica do solo, ou até mesmo favorecendo o desenvolvimento radicular da cultura. Detalhe que deve merecer destaque é a presença do gesso agrícola no período seco, que possibilitou maior quantidade de MOS em subsuperfície comparativamente a camada superficial.

Marcolin (2006) avaliando as propriedades físico-hídrico-mecânicas de solos na região de Passo Fundo-RS verificou que a redução do teor de matéria orgânica nos solos estudados não apresentava comportamento linear, apresentando pequeno aumento no teor da matéria orgânica nas camadas subsuperficiais, respectivamente.

O acúmulo de matéria orgânica nas camadas mais profundas dos solos ocorre, provavelmente, pela incorporação no solo de restos culturais no período do preparo convencional. A profundidade do acúmulo da matéria orgânica pode variar em função da profundidade de trabalho dos implementos agrícolas utilizados para revolvimento do solo e a incorporação dos resíduos das culturas (MARCOLIN, 2006).

5 CONCLUSÕES

Da pesquisa realizada, conclui-se que:

- Os diferentes tipos de dejetos influenciaram de modo distinto os atributos físicos do solo;
- Na presença de gesso agrícola os adubos orgânicos foram mais eficientes na melhoria dos atributos físicos do solo, principalmente nas profundidades de 25-50 cm;
- Entre os tipos de adubos orgânicos utilizados, o esterco bovino (EB) com e sem a presença do gesso foi que mais contribuiu para aumentar a porosidade total e reduzir a densidade do solo;
- O adubo químico (AQ), influenciou negativamente na quantidade de argila dispersa em água;

Para os adubos orgânicos houve aumento no grau de floculação do solo em profundidade e consequentemente redução da argila dispersa em água;

- Para o DMG os maiores valores encontrados foram para o período chuvoso, na presença de gesso agrícola misturado aos adubos favorecendo a formação de agregados maiores na profundidade de 25-50 cm;
- Constatou-se haver maiores valores de MOS para o período seco do ano;
- O comportamento físico do solo, para os atributos avaliados, variou de modo distinto entre o período chuvoso e o período seco do ano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, J. A. et al. Aplicação de calcário e fósforo e estabilidade da estrutura de um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 5, out. 2003. Disponível em: <<http://www.scielo.br/scielo.php>>. Acesso em: 09 fev. 2009.
- ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A. S.; SUZUKI, L. E. A. S. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um latossolo vermelho distrófico em recuperação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 617-625, 2006.
- ANJOS, Ivan Antônio dos et al. Efeitos da adubação orgânica e da época de colheita na qualidade da matéria-prima e nos rendimentos agrícola e de açúcar mascavo artesanal de duas cultivares de cana-de-açúcar (cana-planta). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 1, fev. 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542007000100009&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 20 jan. 2009.
- ARAUJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, abr. 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832004000200012&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 10 març. 2009.
- BARRACHO, J. A. de O. O licenciamento e controle ambiental da atividade de suinocultura. In: SEMINÁRIO MINEIRO SOBRE MANEJO E UTILIZAÇÃO DE DEJETOS DE SUÍNOS, 1., 1995, Ponte Nova, MG. **Anais...** Viçosa: EPAMIG, 1995. p. 1-7.
- BATAGLIA, O. C.; BERTON, R. S.; CAMARGO, O. A.; VALADARES, J. M. A. S. Resíduos orgânicos como fontes de nitrogênio para capim-braquiária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, n. 7, p. 277-284, 1983.
- BERTONI, J.; LOMBARDI, F. N. **Conservação do Solo**. São Paulo: Ícone, 1999, 355p.
- BITTAR FILHO, A. F. **Influência da adubação orgânica sobre as propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho eutroférrico cultivado com cana-de-açúcar**. UCDB-Universidade Católica Dom Bosco. Campo Grande, 2008. Disponível em: <<http://www.gpec.ucdb.br/pistori/pibic/planos2007/Ari%20Fernando%20Bittar%20Fiho.pdf>>. Acesso em: 12 fev. 2009.
- BORGES, E. N. **Efeito de doses de gesso+matéria seca de crotalaria e níveis de compactação em atributos físicos de um Latossolo Vermelho-escuro**. 1995. 136f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Nature and Properties of Soils**. 14 th, ed. Edition. Hardcover, sep. 2007. 990p.

CAVENAGE, A.; Moraes, M.L.T; Alves, M.C.; Carvalho, M.A.C.; Freitas, M.L.M.; Buzetti, S. Alterações nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 4, p. 997-1003, 1999.

CENTURION, José Frederico et al . Influência do cultivo da cana-de-açúcar e da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de latossolos vermelhos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 2, abr. 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/scielo.php>>. Acesso em: 21 jan. 2009.

CHAVES, L. H. G.; ROLIM, H. O. Efeito da aplicação de sulfato de alumínio e sulfato de cálcio sobre a permeabilidade de um solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. **Resumos Expandidos...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. (CD-ROM).

CFSEMG - Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas**. Gerais: 5^a aproximação. Viçosa, MG, 1999. 360p.

COSTA, A. M. da. et al. Influência da cobertura vegetal na densidade de três solos do cerrado. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOGRAFIA: Perspectivas para o cerrado no século XXI, 2., 2003, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: [s.n.], 2003. p. 1-8.

COSTA, A. M. da. **Recuperação física de um Latossolo Vermelho, influenciada pela aplicação de camas de aviário**. 2005. 111f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)-Universidade Federal de Uberlândia, 2005.

COSTA, M.B.B. **Adubação orgânica**: nova síntese e novo caminho para a agricultura. São Paulo: Ícone, 1985. 100p.

CRAVO, M. S.; MURAOKA, T.; GINÉ, M. F. Caracterização química de compostos de lixo urbano de algumas usinas brasileiras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, p. 547-553, 1998.

DEMATTÊ, José Luiz Loriatti. **Cultura da cana-de-açúcar: recuperação e manutenção da fertilidade dos solos**. Piracicaba: Potafos, 2005. Encarte do Informações Agronômicas, n. 111, set. 2005.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Avaliação da Viabilidade do Uso de resíduos na Agricultura**. Jaguariúna, SP, nov. 2008. (Circular Embrapa). Disponível em: <http://www.cnpma.embrapa.br/download/circular_19.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2009.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação de aptidão agrícola das terras do Triângulo Mineiro**. Rio de Janeiro, 1982. 526p.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo.** 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Brasília, 1999. 412p.

FALLEIRO, R. M.; SOUZA, C. M.; SILVA, C. S. W.; SEDIYAMA, C. S.; SILVA, A. A.; FAGUNDES, J. L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 1097-1104, 2003.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para o Windows versão 4.0 I: Reunião anual da região brasileira da sociedade internacional biometria, 45.,000, São Paulo. **Anais...** São Paulo: UFSCAR, 2000. p. 255-258.

FERREIRA, M. M.; JÚNIOR. M. S. D. **Física do solo.** Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 252p.

HILLEL, D. **Introduction to soil physics.** San Diego: Academic Press, 1982. 365p.

IBGE. **Produção Agrícola Municipal.** Disponível em <<http://ibge.gov.br>>. Acesso em: 10 fev. 2009.

KIEHL, E. J. **Adubo orgânico:** terra fértil a baixo custo. A Granja, Porto Alegre, v. 41, n. 449, p. 48-54, jun. 1985a.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos.** São Paulo: Ceres, 1985. 492p.

KIEHL, E. J. **Manual de Edafologia – Relações Solo-Planta.** Ed. Agronômica Ceres. São Paulo, 1979.

KOFFLER, N.F.; DONZELI, P.L. Avaliação dos solos brasileiros para a cultura da cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S.B., (Coord.) **Cana-de-açúcar:** cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargill, v. 1, 431p, 1987.

LAWRINDO, M. C. de O. **Propriedades físicas do solo e matéria orgânica em sistemas de plantio direto e cultivo mínimo.** 2006. 56f. Dissertação (Mestrado Engenharia de Sistemas Agroindustriais)-Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2006. Disponível em: <http://tede.unioeste.br/tede//tde_busca/arquivo.php?>. Acesso em: 20 jan. 2009.

MANOSSO, Daniele Crislei Czuy. **A degradação das propriedades físicas dos latossolos vermelhos distróficos em decorrência dos diferentes usos agrícolas em Florai-Pr.** 2006. 107f. Dissertação (Mestrado em Análise Regional e Ambiental)-Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2006. Disponível em: <<http://www.unitau.br...www.pge.uem.br/pdf/dccmanosso.pdf>>. Acesso em: 02 mar. 2009.

MARCOLIN, Clovis Dalri. **Propriedades físicas de nitossolo e latossolos argilosos sob plantio direto.** 2006. 110f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal)- Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2006. Disponível em: <<http://br.monografias.com/trabalhos/propriedades-fisicas-materia/propriedades-fisicas-materia.shtml>> - 20k>. Acesso em: 02 dez. 2008.

MARRIEL, I.V.; KONZEN, E.A.; ALVARENGA,R.C.; SANDROS, H. L. Tratamento e utilização de resíduos orgânicos. **Informe agropecuário**, Belo Horizonte, v. 13, n. 147, p. 24-36, mar. 1987.

MATOS, A. T.; VIDIGAL, S.M.; SEDIYAMA, M. A. N. GARCIA, N.C.P. & RIBEIRO, M.F. Compostagem de alguns resíduos orgânicos utilizando-se água residuárias da suinocultura como fontes de nitrogênio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2. n. 2, p. 199-203, 1998.

MAZUCHOWSKI, J. Z.; DERPSCH, R. **Guia de Preparo do Solo para Culturas Anuais Mecanizadas.** ACARPA. Curitiba, 1984. 68p.

MEDINA, C.C. de.; BRINHOLI, O. Uso de resíduos agroindustriais na produção de cana de açúcar, açúcar e álcool. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 33, n. 11, p. 1821-1825, nov. 1998.

MENEZES, J. F. S.; ALVARENGA, R. C.; SILVA, G. P.; KONZEN, E. A.; PIMENTA, F.F. **Cama de frango na agricultura:** perspectivas e viabilidade técnica e conômica. Rio Verde: FESURV, 2004. Boletim Técnico. Fundação de Ensino Superior de Rio Verde, 3.

NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (ed.) **Fertilidade do solo.** Viçosa: SBCS, 2007. 1017p.

NOVAES, Roberto Ferreira et al. **Fertilidade do solo.** Viçosa, MG; Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 1, 1017p, 2007.

OLIVEIRA, I.P.; KLUTHCOUSKI, J.; REYNIER, F.N. Efeito do fósforo e gesso na produção de feijão e arroz e no comportamento de alguns nutrientes. In: SEMINÁRIO SOBRE USO DE FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, 1; Brasília. **Anais...** Brasília, EMBRAPA-DDT, 1986. p. 45-59.

OLIVEIRA, J. J.; CHAVES, L. H. G.; QUEIROZ, J. E.; LUNA, J. G. Variabilidade espacial de propriedades químicas em um solo salino-sódico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 783-789, 1999.

ORLANDO FILHO. J.; MACEDO, N.; TOKESHI, H. **Seja o doutor do seu canavial.** Piracicaba. Potafos. Encarte do Informações Agronômicas – n. 67 - Arquivo do Agrônomo n. 6, set. 1994.

PALMEIRA, P.R.T.; PAULETTO, E.A.; TEIXEIRA C.F.A.; GOMES A.S. & SILVA, J.B. Agregação de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 189-195, 1999.

PERDOMO, C. C. A. A água na suinocultura. In: CICLO DE PALESTRAS SOBRE DEJETOS DE SUÍNOS, MANEJO E UTILIZAÇÃO DO SUDOESTE GOIANO, 1; 1997, Rio Verde, **Anais...** Rio Verde: FESURV, p. 69-80, 1997.

PRADO, R. de M. Calagem e as propriedades físicas de solos tropicais: revisão de literatura. **Revista Biociências**, Taubaté, v. 9, n. 3, p. 7-16, jul./set. 2003. Disponível em: <<http://periodicos.unitau.br/ojs-2.2/index.php/biociencias/article/view/115>>. Acesso em: 01 mar. 2009.

PRADO, R. de M.; CENTURION, J. F. Alterações na cor e no grau de floculação de um Latossolo Vermelho-Escuro sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 1, jan. 2001. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100204X2001000100024&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 12 jan. 2009.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceito, processo e aplicações**. Barueri: Manole, 2004, 478p.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. **Apostila de propriedades físicas do solo**. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, mai. 2006. Disponível em: http://www.ufsm.br/agronomia/apostilas/fisicasosolo_esalq.pdf. Acesso em: 10 nov. 2008.

ROSSETTO, R. A cultura da cana, da degradação à conservação. **Visão Agrícola**, n. 1, 2004.

SALDANHA, E.C.M. **Gesso mineral em cana-de-açúcar: efeitos no solo e na planta**. 2005. 56f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo)-Universidade Federal Rural de Pernambuco, Pernambuco, 2005. Disponível em: <<http://www.pgs.ufrpe.br/files/dissertacoes/2005/Eduardo%20Cesar%20Medeiros%20Saldanha.pdf>>. Acesso em: 18 fev. 2009.

SANTOS, T.M.B. **Caracterização química, microbiológica e potencial de produção de biogás a partir de três tipos de cama, considerando dois ciclos de criação de frango de corte**. 1997. 95f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia-Produção Animal)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1997.

SCHERER, E.E. Avaliação de fontes e épocas de aplicação de adubo nitrogenado na cultura do milho no sistema plantio direto. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, **EPAGRI**, v. 14, p. 48-53, 2001.

SEGATO, S. V; PINTO, A. de S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. **Atualização em produção de Cana-de-Açúcar**. Piracicaba: CP 2, 2006. 451p.

SILVA, A. P.; KAY, B. D. Effect of soil water content variation on the least limiting water range. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 61, p. 884-888, 1997.

SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S. Matéria orgânica do solo. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. (Ed.) **Biologia dos solos dos cerrados**. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1997. p. 467-524.

SILVA, M. L. N; NILTON CURI, N.; BLANCANEAUX, P. Sistemas de manejo e qualidade estrutural de latossolo roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 12, p. 2485-2492, dez. 2000.

SILVA, P. C. **Variabilidade de atributos físicos e químicos de solo submetidos a diferentes sistemas de manejo de plantas espontâneas na cafeicultura do cerrado mineiro**. 2008. 130f. Dissertação (Mestrado em Solos)-Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2008.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. **Cerrado**: correção do solo e adubação. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2004. 416p.

SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B. Atributos físicos de um Neossolo Quartzarênico e um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 11, nov. 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/scielo.php>>. Acesso em: 20 jan. 2009.

SOUZA, Z. M. de; ALVES, M. C.. Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado, sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental [online]**, Campina Grande, v. 7, n. 1, abr. 2003. Disponível em: <<http://www.scielo.br/scielo.php>>. Acesso em: 18 dez. 2008.

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

WARREN SL; FONTENO WC. Changes in physical and chemical properties of a loamy sand soil when amended with composted poultry litter. **Journal of Environmental Horticulture**, v. 11, p. 186-190, 1993.

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of same physical properties of the soil. In: HILL, D. ed. **Aplications of soil physics**, New York: Academic Press, 1980.

YODER, R. A direct method of aggregate analysis of soil and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal of the American Society, of Agronomy Journal**, Madison, v. 28, n. 5, p. 337-251, 1936.

VIEIRA, M.J.; COGO, N.P. & CASSOL, E.A. Perdas por erosão em diferentes sistemas de preparo do solo, para a cultura da soja (*Glycine max* (J.) Merr) em condições de chuva simulada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 2, n. 3, p. 209-214, 1978.

ANEXOS

LISTA DE ANEXOS

ANEXOS		Página
TABELA 1A	Valores médios de Densidade de partículas (Dp) do solo em g cm ⁻³ , cultivado com cana-de-açúcar e submetido a diferentes adubos com e sem gesso agrícola, profundidades e períodos distintos de amostragens.....	76
TABELA 2B	Análise granulométrica do solo submetido a diferentes adubos ¹ com dejetos orgânicos, todos combinados com (+G) e sem gesso agrícola (-G), nas duas profundidades amostradas em solo cultivado com cana-de-açúcar.....	77
TABELA 3C	Análise de variância no período chuvoso (Jan. 2008) para argila dispersa em água, grau de floculação, matéria orgânica, diâmetro médio geométrico de agregados, massa seca da folha de cana-de-açúcar e massa seca do colmo de cana-de-açúcar de um Latossolo Vermelho distrófico em plantio de cana-de-açúcar adubado com dejetos orgânicos...	78
TABELA 4C	Análise de variância no período chuvoso (Jan. 2008) para densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total, macroporosidade e microporosidade de um Latossolo Vermelho distrófico em plantio de cana-de-açúcar adubado com dejetos orgânicos.....	79
TABELA 5C	Análise de variância no período seco (Julh. 2008) para argila dispersa em água, grau de floculação, matéria orgânica, diâmetro médio geométrico de agregados, massa seca da folha de cana-de-açúcar e massa seca do colmo de cana-de-açúcar de um Latossolo Vermelho distrófico em plantio de cana-de-açúcar adubado com dejetos orgânicos...	80
TABELA 6C	Análise de variância no período seco (Julh. 2008) para densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total, macroporosidade e microporosidade de um Latossolo Vermelho distrófico em plantio de cana-de-açúcar adubado com dejetos orgânicos.....	81
ANEXO D	Croqui da área experimental.....	82
ANEXO E	Figuras da área experimental e coleta de amostras de solo...	83

TABELA 1A. Valores médios de Densidade de partículas (Dp) do solo em g cm⁻³, cultivado com cana-de-açúcar e submetido a diferentes adubos com e sem gesso agrícola, profundidades e períodos distintos de amostragens

Adubos ¹	Prof ²	Blocos				Média
		1	2	3	4	
AC	0-25	2,86	2,70	2,74	2,63	2,73
AC	25-50	2,71	2,67	2,82	2,63	2,71
AC+G	0-25	2,82	2,70	2,63	2,74	2,72
AC+G	25-50	2,74	2,74	2,78	2,67	2,73
AQ	0-25	2,74	2,78	2,82	2,67	2,75
AQ	25-50	2,70	2,78	2,82	2,67	2,74
AQ+G	0-25	2,60	2,86	2,67	2,70	2,71
AQ+G	25-50	2,56	2,86	2,67	2,63	2,68
CF	0-25	2,53	2,86	2,82	2,78	2,75
CF	25-50	2,67	2,78	2,82	2,82	2,77
CF+G	0-25	2,67	2,63	2,70	2,78	2,69
CF+G	25-50	2,70	2,67	2,60	2,74	2,68
CP	0-25	2,63	2,78	2,67	2,67	2,69
CP	25-50	2,60	2,82	2,63	2,82	2,72
CP+G	0-25	2,78	2,70	2,82	2,67	2,74
CP+G	25-50	2,78	2,82	2,82	2,82	2,81
EB	0-25	2,78	2,86	2,56	2,70	2,73
EB	25-50	2,53	2,82	2,67	2,63	2,66
EB+G	0-25	2,82	2,70	2,60	2,70	2,70
EB+G	25-50	2,86	2,67	2,74	2,70	2,74

¹Adubos: EB: Esterco Bovino; CP: Cama de Peru; AC: Adubo Compostado; CF: Cama de Frango; AQ: Aduob Químico (testemunha), todos combinados com e sem gesso agrícola analisados em dois períodos distintos. ²Prof = profundidade.

TABELA 2B. Análise granulométrica do solo submetido a diferentes adubos¹ com dejetos orgânicos, todos combinados com (+G) e sem gesso agrícola (-G), nas duas profundidades amostradas em solo cultivado com cana-de-açúcar

Adubos	Prof	Blocos												Classe Textural	
		1			2			3			4				
		Argila	Areia Total	Silte											
cm		.....g kg ⁻¹.....	.....g kg ⁻¹.....		.....g kg ⁻¹.....	.....g kg ⁻¹.....		.....g kg ⁻¹.....	.....g kg ⁻¹.....		.....g kg ⁻¹.....	.....g kg ⁻¹		
AC	0 - 25	327	625	48	309	669	22	230	740	29	296	679	25	F. A. A ¹	
AC	25 - 50	246	685	69	299	678	23	333	641	25	281	702	17	F. A. A	
AC + G	0 - 25	260	719	20	252	702	46	259	716	25	285	649	66	F. A. A	
AC + G	25 - 50	279	688	32	281	623	96	234	727	40	236	688	77	F. A. A	
AQ	0 - 25	298	687	14	229	749	23	296	687	17	262	723	15	F. A. A	
AQ	25 - 50	265	655	80	253	663	83	253	660	86	251	723	26	F. A. A	
AQ + G	0 - 25	271	723	6	279	699	23	204	750	46	321	674	5	F. A. A	
AQ + G	25 - 50	318	678	4	258	654	88	279	674	47	320	652	28	F. A. A	
CF	0 - 25	181	765	54	314	665	22	226	739	35	292	682	25	F. A. A	
CF	25 - 50	303	673	24	242	668	90	311	666	23	281	654	65	F. A. A	
CF + G	0 - 25	300	687	14	285	698	16	229	721	49	263	721	16	F. A. A	
CF + G	25 - 50	328	661	12	299	692	9	333	648	18	222	748	30	F. A. A	
CP	0 - 25	296	668	35	278	684	39	272	705	23	246	680	73	F. A. A	
CP	25 - 50	277	711	11	311	676	13	295	639	65	287	648	66	F. A. A	
CP + G	0 - 25	314	638	48	242	729	29	205	775	20	292	698	11	F. A. A	
CP + G	25 - 50	298	662	39	280	626	94	207	764	29	259	698	43	F. A. A	
EB	0 - 25	260	693	47	241	729	30	301	695	4	315	659	26	F. A. A	
EB	25 - 50	332	643	26	323	656	22	307	679	14	273	626	101	F. A. A	
EB + G	0 - 25	250	741	10	337	641	22	293	697	10	274	694	31	F. A. A	
EB + G	25 - 50	304	669	27	322	662	17	285	710	4	310	647	43	F. A. A	

¹F. A. A= Franco-argilo-arenosa

TABELA 3C. Análise de variância no período chuvoso (Jan. 2008) para argila dispersa em água, grau de floculação, matéria orgânica, diâmetro médio geométrico de agregados, massa seca da folha de cana-de-açúcar e massa seca do colmo de cana-de-açúcar de um Latossolo Vermelho distrófico em plantio de cana-de-açúcar adubado com dejetos orgânicos

FV	GL	QUADRADO MÉDIO ⁽¹⁾			
		ADA	GF	MO	DMG
Adubo	4	825,723000	153,789473	9,888889**	0,002518*
Gesso	1	15803,4422000*	1826,056051*	2,660851	0,001125
Adubo*Gesso	4	2508,067000	254,410717	0,549792	0,004719**
Bloco	3	4919,202000	757,611078	9,476161	0,003042
Resíduo (a)	27	2142,196074	289,741878	1,685427	0,000641
Profundidade	1	4327,682000	55,228261	5,913281	0,015125*
Prof*Adubo	4	786,817000	31,922227	4,930678	0,002256*
Prof*Gesso	1	6,050000	0,294031	0,842551	0,003125
Prof*Adubo*Gesso	4	2674,085000	215,210816	4,035723	0,000275
Resíduo (b)	30	1545,499333	188,975420	2,919284	0,000771
CV₁ (%)		24,45	53,93	14,08	9,21
CV₂ (%)		20,77	43,55	18,53	10,11

CV₁ = coeficiente de variação da parcela; CV₂ = coeficiente de variação da subparcela; GL = grau de liberdade do resíduo; ADA = argila dispersa em água; GF = grau de floculação; MO = matéria orgânica; DMG = diâmetro médio geométrico de agregados; M.S folha = massa seca da folha de cana-de-açúcar; M.S colmo = massa seca do colmo de cana-de-açúcar; ⁽¹⁾ **, * F significativo a 1 e 5 % de probabilidade respectivamente.

TABELA 4C. Análise de variância no período chuvoso (Jan. 2008) para densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total, macroporosidade e microporosidade de um Latossolo Vermelho distrófico em plantio de cana-de-açúcar adubado com dejetos orgânicos

FV	GL	QUADRADO MÉDIO ⁽¹⁾				
		Ds	Dp	P total	Ma	Mi
Adubo	4	0,001364	0,001909	0,001858	0,001559*	0,000364
Gesso	1	0,001711	0,000211	0,000020	0,000245	0,000211
Adubo*Gesso	4	0,011205*	0,014671	0,001486	0,002086*	0,001271
Bloco	3	0,005408	0,012995	0,000728	0,000215	0,000881
Resíduo (a)	27	0,003309	0,012761	0,000860	0,000263	0,000602
Profundidade	1	0,083851**	0,000151	0,019845**	0,023120*	0,000101
Prof*Adubo	4	0,006289	0,002917	0,001211	0,001067*	0,000286
Prof*Gesso	1	0,015961	0,002531	0,003920	0,000980	0,000911
Prof*Adubo*Gesso	4	0,004380	0,003053	0,006898**	0,002533*	0,001402
Resíduo (b)	30	0,005285	0,003810	0,000807	0,000273	0,000756
CV₁ (%)		3,62	4,15	8,31	13,38	10,59
CV₂ (%)		4,57	2,27	8,05	13,64	11,87

CV₁ = coeficiente de variação da parcela; CV₂ = coeficiente de variação da subparcela; GL = grau de liberdade do resíduo; Ds = densidade do solo; Dp = densidade de partículas; P total = porosidade total; Ma = macroporosidade; Mi = microporosidade; ⁽¹⁾ **, * F significativo a 1 e 5 % de probabilidade respectivamente.

TABELA 5C. Análise de variância no período seco (Julh. 2008) para argila dispersa em água, grau de floculação, matéria orgânica, diâmetro médio geométrico de agregados, massa seca da folha de cana-de-açúcar e massa seca do colmo de cana-de-açúcar de um Latossolo Vermelho distrófico em plantio de cana-de-açúcar adubado com dejetos orgânicos

FV	GL	QUADRADO MÉDIO ⁽¹⁾			
		ADA	GF	MO	DMG
Adubo	4	1726,907000**	196,258008	6,705974	0,000459
Gesso	1	2150,738000*	568,284605*	10,701845	0,000911
Adubo*Gesso	4	609,743000	179,606864	1,225851	0,000633
Bloco	3	1109,927333	41,741340	35,633503*	0,001821
Resíduo (a)	27	415,164370	80,800941	2,690036	0,000293
Profundidade	1	1566,450000	1,346805	2,380500	0,001901
Prof*Adubo	4	702,265000	127,829196	0,697519	0,000692
Prof*Gesso	1	494,018000	371,694420*	2,211125	0,000001
Prof*Adubo*Gesso	4	937,633000	150,046054	0,666781	0,000811
Resíduo (b)	30	463,302000	74,064969	1,596999	0,000575
CV₁ (%)		12,88	33,06	14,96	
CV₂ (%)		13,60	31,66	11,53	6,64

CV₁ = coeficiente de variação da parcela; CV₂ = coeficiente de variação da subparcela; GL = grau de liberdade do resíduo; ADA = argila dispersa em água; GF = grau de floculação; MO = matéria orgânica; DMG = diâmetro médio geométrico de agregados; M.S folha = massa seca da folha de cana-de-açúcar; M.S colmo = massa seca do colmo de cana-de-açúcar; ⁽¹⁾ **, * F significativo a 1 e 5 % de probabilidade respectivamente.

TABELA 6C. Análise de variância no período seco (Julh. 2008) para densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total, macroporosidade e microporosidade de um Latossolo Vermelho distrófico em plantio de cana-de-açúcar adubado com dejetos orgânicos

FV	GL	QUADRADO MÉDIO ⁽¹⁾			
		Ds	P total	Ma	Mi
Adubo	4	0,000474	0,002299*	0,001736*	0,000086
Gesso	1	0,006845	0,001051	0,001620	0,000001
Adubo*Gesso	4	0,003751	0,003108**	0,002317*	0,000117
Bloco	3	0,036832	0,002595	0,000657	0,004211*
Resíduo (a)	27	0,008332	0,000636	0,000629	0,000648
Profundidade	1	0,031205	0,005951*	0,002000	0,000661
Prof*Adubo	4	0,006693	0,002164*	0,002003**	0,000046
Prof*Gesso	1	0,001445	0,000001	0,000080	0,000031
Prof*Adubo*Gesso	4	0,004657	0,000733	0,001514*	0,000134
Resíduo (b)	30	0,006218	0,000600	0,000425	0,000268
CV₁ (%)		5,90	6,70	19,00	10,40
CV₂ (%)		5,09	6,51	15,62	6,68

CV₁ = coeficiente de variação da parcela; CV₂ = coeficiente de variação da subparcela; GL = grau de liberdade do resíduo; Ds = densidade do solo; Dp = densidade de partículas; P total = porosidade total; Ma = macroporosidade; Mi = microporosidade; ⁽¹⁾ **, * F significativo a 1 e 5 % de probabilidade respectivamente.

ANEXO D: Croqui da área experimental

ANEXO E: Figuras da área experimental e coleta de amostras de solo



Figura 1. Área experimental



Figura 2. Cana-de-açúcar com 3 meses de plantio.



Figura 3. Amostragem no período chuvoso (1º coleta)



Figura 4. Coletas das amostras indeformadas, nas profundidades de 0-25 e 25-50 cm.



Figura 5. Preparando a área para coleta de solo.



Figura 6. Coleta de solo.



Figura 7. Solo preparado para as análises.



Figura 8. Amostragem no período seco (2º coleta).