

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

**ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO
DISTROFÉRRICO SOB APLICAÇÃO DE VINHAÇA NA
CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR**

EBER AUGUSTO FERREIRA DO PRADO

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2012**

**ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO
DISTROFÉRICO SOB APLICAÇÃO DE VINHAÇA NA
CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR**

EBER AUGUSTO FERREIRA DO PRADO
Engenheiro agrônomo

Orientador: PROF. DR. ANTONIO CARLOS TADEU VITORINO

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre.

DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2012

**ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO
SOB APLICAÇÃO DE VINHAÇA NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR**

por

Eber Augusto Ferreira do Prado

Dissertação apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de
MESTRE EM AGRONOMIA

Aprovado em: 15/02/2012

Prof. Dr. Antonio Carlos Tadeu Vitorino
Orientador – UFGD/FCA

Profa. Dra. Paula Pinheiro P. Peixoto
UFGD/FCA

Dr. Rodrigo Arroyo Garcia
EMBRAPA/CPAO

DEDICO.

Aos meus pais Ivan Zaninello do Prado e Zene Ferreira do Prado, as minhas irmãs Laís Carolina Ferreira do Prado e Leia Virginia Ferreira do Prado ao “manão” Ivan Gabriel Ferreira do Prado, a Vanessa de Lima Campos e a todos os demais integrantes da família Ferreira & Prado, que sempre estiveram ao meu lado durante toda minha trajetória, educando, ensinando e perseverando.

OFEREÇO.

A Deus e ao Meu orientador Antonio Carlos Tadeu Vitorino

“Estamos aqui para causar impacto no universo”
STEVE JOBS

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida, pelos talentos recebidos e pela possibilidade de multiplicá-los.

Em especial ao meu orientador Professor Dr. Antonio Carlos Tadeu Vitorino, pela confiança e oportunidade de trabalharmos juntos, obrigado por sua orientação.

Agradeço em especial ao pesquisador da EMBRAPA Cerrados - DF Dr. Giuliano Marchi pela sua imensa contribuição, desde os materiais utilizados em campo, bem como sua disponibilidade em nos atender nos momentos de dúvidas.

A professora Paula Pinheiro Padovese Peixoto minha primeira orientadora na faculdade ao grande professor José Oscar Novelino. Agradeço também aos professores André Luiz Gonelli, e em especial ao pesquisador da Embrapa Agropecuária Oeste Rodrigo Arroyo Garcia pelo tempo disponibilizado.

Agradeço em especial aos técnicos de laboratório, Nilda Tiyoko Kobayashi Hoffman, Laura Priscila Todelo Bernal, João Augusto Machado da Silva e Deuzelino Marques da Silva, que muito tiveram a paciência de me ajudar nas análises de laboratório.

O meu muito obrigado a toda equipe da usina Monte Verde – BUNGUE que gentilmente concedeu a área do experimento. Um abraço especial ao gerente agrícola Leandro, em especial ao gerente de tratos culturais Antonio Higino Frederico Pereira e ao encarregado da fertirrigação Clodoaldo que sempre estiveram prontos para nos atender no que fosse possível.

Ao programa de Pós-Graduação em Agronomia da UFGD, pela oportunidade, e a secretária Maria Lucia Teles pela atenção e paciência.

Ao CNPq, pela bolsa concedida.

Agradeço também a todos os professores da Universidade Federal da Grande Dourados por todo aprendizado que me foi proporcionado desde os tempos de graduação. Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da UFGD, pelo aprimoramento no conhecimento.

A minha namorada Vanessa de Lima de Campos que sempre me incentivou à estudar e muito contribuiu no meu crescimento.

Ao amigo Leandro Bassi Moreno companheiro de terrere. Aos amigos de mestrado Douglas costa Potrich, Diego Costa Potrich, Everton Rossi Rigoni e Alex Marcel Melotto o “senhor chave de fenda”.

Aos colegas da equipe do Laboratório de Física do solo Tomaz Alves de Souza, Anderson Cristian Bergamin, Leandro Ramão Paim pelo companheirismo, aos alunos de graduação Heverton Ponce Arantes, Daniel Luan Pereira Espindola, Wellinton Henrique de Oliveira, Laira Rodrigues Ferreira, Caio Fernando Queiroz da Silva e Marcos Vinícius Garbiate que tiveram papel fundamental na confecção desta dissertação.

Um agradecimento especial à Carla Cristina Dutra pelo privilegio da sua amizade.

A todos os familiares, próximos ou distantes que, sempre contribuíram para que essa vitória fosse alcançada.

Muito obrigado!!!!

**“O importante é saber, mas o mais importante
é nunca perder a capacidade de aprender”**

LEONARDO BOFF.

SUMÁRIO

	PÁGINA
RESUMO GERAL	vii
ABSTRACT	viii
1 INTRODUÇÃO GERAL	1
2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	3
3 ARTIGO 1	4
ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO SOB APLICAÇÃO DE VINHAÇA NA CANA-DE-AÇÚCAR	4
3.1 Resumo.	4
3.2 Abstract.	5
3.3 Introdução	6
3.4 Material e métodos.	9
3.5 Resultados e discussões.	11
3.6 Conclusões	23
3.7 Referências bibliográficas	24
4 ARTIGO 2	28
ÍNDICE DE DISPERSÃO DE AGREGADOS EM UM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO COM APLICAÇÃO DE VINHAÇA.	28
4.1 Resumo.	28
4.2 Abstract.	29
4.3 Introdução	30
4.4 Material e métodos.	32
4.5 Resultados e discussões	34
4.6 Conclusões.	44
4.7 Referências bibliográficas	45
5 CONCLUSÕES GERAIS.	47

ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO SOB APLICAÇÃO DE VINHAÇA NA CULTURA DA CANA-DA-AÇÚCAR

RESUMO

No cultivo de cana-de-açúcar, a aplicação de vinhaça é uma prática comum no manejo da cultura. A vinhaça é um resíduo líquido, produzido por destilarias de álcool e que apresenta alto teor de nutrientes e matéria orgânica, o que a torna, quando aplicado ao solo, um fertilizante que é retirado do próprio canavial. Assim espera-se que a vinhaça também possa alterar os atributos físicos do solo. Objetivou-se com este trabalho avaliar os atributos físicos do solo, em área cultivada com cana-de-açúcar, após aplicação de doses de vinhaça. O estudo foi realizado em um Latossolo Vermelho distroférico na usina monte verde – BUNGUE, no município de ponta porã, MS. Foi utilizado esquema fatorial (4x4) sendo avaliadas quatro doses de vinhaça (0, 450; 600 e 750 m³ ha⁻¹) e os atributos físicos de, em quatro profundidades, (0,0-0,5; 0,5-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m), com cinco repetições, em parcelas de 24 m² (6m x 4m). As amostras indeformadas foram retiradas aos 38, 75 e 111 dias após aplicação da vinhaça com auxílio de anéis volumétricos nas entrelinhas da cultura para determinação da densidade, macroporosidade e porosidade total. Para a determinação da estabilidade dos agregados, através do DMG, DMP e índice de dispersão, foram usadas duas amostras com estrutura preservada de cada parcela em cada profundidade, sendo utilizados os agregados maiores que 4,63 mm. Os efeitos das doses e profundidades sobre os atributos físicos foram verificados através da análise de regressão. De acordo com os resultados obtidos, a aplicação de até 750 m³ ha⁻¹ de vinhaça diminuiu a densidade do solo e o índice de dispersão, aumentando a macroporosidade, a porosidade total, o diâmetro médio geométrico e o diâmetro médio ponderado do solo cultivado com cana soca de 3^a ano. A colheita da cana-de-açúcar foi realizada manualmente, com um ciclo total de 10 meses, de maneira geral, a produtividade da cana-de-açúcar aumentou com as doses de vinhaça.

Palavras chave: Porosidade do solo, atributos físicos, estabilidade de agregados

PHISICAL ATTRIBUTES OF RED DYSTROPHIC LATOSOL UNDER THE APPLICATION OF STILLAGE IN THE CULTIVATION OF SUGAR CANE

ABSTRACT

In the cultivation of sugar cane, the application of stillage is a common management practice. Stillage is a liquid residue produced by alcohol distilleries and has a high content of nutrients and organic matter, which makes it, when applied to the soil a fertilizer that is taken from the sugar cane field itself. Thus it is expected that stillage can also alter the physical attributes of the soil. The object of this study was to assess the physical attributes of the soil, in areas cultivated with sugar cane, after the application of stillage. The study was conducted in a red dystrophic latosol at the BUNGUE Monte Verde plant in the municipality of Ponta Pora, MS, Brasil. We used the (4x4) factorial design, evaluating 4 applications of stillage (0, 450; 600 e 750 m³ ha⁻¹) and their physical attributes at four depths (0,0-0,5; 0,5-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m), with five repetitions. The undisturbed samples were removed at 38, 75, and 111 days after application with the help of volumetric rings in between rows of the culture to determine the density, macro porosity and total porosity. Two samples with preserved structure from each parcel at each depth were used to determine the stability of the aggregates by means of DMG, DMP and dispersion index, using aggregates greater than 4.63mm. The effects of the dosages and depths on the physical attributes were verified by regression analysis. According to the results obtained, the application of up to 750 m³ ha⁻¹ of stillage lowered the soil density and dispersion index, increasing the macro porosity, total porosity, the mean geometric diameter and the weighted mean diameter of the soil cultivated with 3 year old sugar cane. The sugar cane harvest was done by hand, with a total cycle of ten months, in general, the productivity of sugar cane increased with the dosages of stillage.

Keywords: Ultrasound, physical attributes, aggregate stability

INTRODUÇÃO GERAL

Grande parte da sociedade internacional está discutindo a questão da base energética, com vistas em fontes renováveis de energia, sendo indiscutível o destaque que a produção de álcool ganha, uma vez que o Brasil, com grandes áreas agricultáveis disponíveis, desponta como grande exportador mundial de combustíveis de origem renovável.

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) com mais de oito milhões de hectares cultivados, com uma produção de 588 milhões de toneladas de cana, 37 milhões de toneladas de açúcar e 23 milhões de litros de álcool, na safra 2011/12. Nessa mesma safra, em Mato Grosso do Sul, a área cultivada com cana-de-açúcar foi de 480,86 mil hectares, com uma produção de 37 milhões de toneladas e produtividade média de 76,95 t ha⁻¹ (CONAB, 2011).

A implantação de sistemas de produção de cana-de-açúcar no Estado de Mato Grosso do Sul, auxiliando na mudança da matriz energética atual, deve seguir preceitos conservacionistas, por meio da implantação de ações que conduzam no aumento da produção e renda e diminuição de impactos negativos das práticas agrícolas ao solo.

As destilarias de aguardente e as de álcool, autônomas ou anexas às usinas de açúcar, produzem como principal resíduo líquido a vinhaça, também conhecida por vinhoto, restilo ou calda. Esse resíduo apresenta um elevado conteúdo de potássio em relação aos minerais totais e aos nutrientes nitrogênio e fósforo (CÓ JÚNIOR, 2007), sendo de grande importância para o manejo da fertilização da cultura que se mal manejada, pode promover problemas ambientais, sanitários e econômicos.

Atualmente não se permite imaginar a adoção de uma nova tecnologia agrícola que não tenha por base um sistema sustentável de produção, onde haja constante preocupação com a preservação dos recursos naturais, com a diminuição dos custos de produção e o aumento da qualidade dos produtos agrícolas.

O aproveitamento de resíduos orgânicos gerados na produção agroindustrial e usados como fertilizantes, é cada vez mais comum na agricultura atual. Neste contexto temos a aplicação de vinhaça que promove mudanças nas propriedades químicas do solo. Os atributos físicos como a estabilidade de agregados e dispersão de argila do solo também podem ser influenciados por esse manejo (CANELLAS et al., 2003); (SILVA et al., 2006); (SANTOS, 2008).

Assim, o monitoramento da qualidade física de solos nesses novos sistemas de uso, envolvendo parâmetros ligados a relação água-solo-planta é de grande relevância para a sustentabilidade desses cultivos que devem aumentar suas áreas ao longo dos próximos anos. Nesse sentido, o monitoramento da produção da cana-de-açúcar, por meio do uso de indicadores das condições físicas do solo, de forma a dar sustentabilidade ao processo produtivo, assume importância peculiar. Tal conjunto de procedimentos visa minimizar a degradação do solo e do meio ambiente na região, onde diversas usinas estão sendo instaladas e o pacote tecnológico usado não foi desenvolvido e/ou ajustado para o Estado. O conhecimento referente ao comportamento deste resíduo no solo e água é de grande importância, pois permite que sejam estabelecidas comparações em relação aos aspectos qualitativos e quantitativos entre os sistemas em uso, possibilitando assim a escolha daquele que resulte em maior qualidade física do solo.

Assim este trabalho teve como objetivo estudar as alterações dos atributos físicos do solo, em área cultivada com cana de açúcar, após aplicação de vinhaça em doses crescentes em diferentes profundidades.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CANELLAS, L.P.; VELLOSO, A.C.X.; MARCIANO, C.R.; RAMALHO, J.F.G.P.; RUMJANEK, V.M.; REZENDE, C.E. & SANTOS, G.A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhicho e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.935-944, 2003.

CÓ JR, C. **Fertilização com lodo de esgoto e vinhaça e Influência nas frações de nitrogênio do caldo e qualidade da cana-de-açúcar**. 2007. 82 f. Dissertação (mestrado em Agronomia – Produção Vegetal) Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal – SP.

CONAB. Disponível em:
http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_08_30_13_41_19_boletim_cana_portugues_-_agosto_2011_2o_lev..pdf. Acesso em: 11 nov. 2011.

SANTOS, G. A.; **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais & subtropicais**. Metropole, Porto Alegre, 2. Ed, p. 654, 2008.

SILVA, A. J. N.; CABEDA, S. V.; CARVALHO, F. G.; LIMA, J. F. W. F. Alterações físicas de um argissolo amarelo sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.1, p.76-83, 2006.

ARTIGO I

ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO SOB APLICAÇÃO DE VINHAÇA NA CANA-DE-AÇÚCAR

RESUMO

A aplicação de vinhaça é prática comum no manejo da cultura da cana-de-açúcar. Este co-produto gerado nas destilarias é um resíduo líquido, que apresenta alto teor de nutrientes e matéria orgânica, o que o torna, quando aplicado ao solo, um agente potencial de alteração de atributos físicos e químicos. Objetivou-se com esse trabalho avaliar os atributos físicos do solo, em área cultivada com cana-de-açúcar, após aplicação de doses de vinhaça. O estudo foi realizado em um Latossolo Vermelho distroférico, franco argilo arenoso, na usina monte verde – BUNGUE, no município de Ponta Porã, MS. Foi utilizado esquema fatorial (4x4) sendo avaliadas quatro doses de vinhaça (0; 450; 600 e 750 m³ ha⁻¹) e os atributos físicos avaliados em quatro profundidades (0,0-0,5; 0,5-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m), com cinco repetições. As amostras indeformadas foram retiradas aos 38, 75 e 111 dias após aplicação da vinhaça com auxílio de anéis volumétricos nas entrelinhas da cultura, para a determinação da densidade do solo, macroporosidade e porosidade total. Também foram obtidas duas amostras com estrutura preservada na forma de blocos (20x20x20 cm) em cada parcela e profundidade para determinação da estabilidade dos agregados através do DMG e DMP, sendo utilizados os agregados retidos na peneira de 4,63 mm. Os efeitos das doses e profundidades sobre os atributos físicos foram verificados por meio de análise de regressão. O aumento das doses de vinhaça diminuiu a densidade do solo e aumentou a macroporosidade, a porosidade total, o diâmetro médio geométrico e o diâmetro médio ponderado do solo cultivado com cana soca de 3^a ano. A colheita foi realizada manualmente, após um ciclo total de 10 meses, de maneira geral, a produtividade da cana-de-açúcar aumentou com as doses de vinhaça.

Palavras chaves: Agregação, qualidade física do solo, atributos físicos

PHISICAL ATTRIBUTES OF RED DYSTROPHIC LATOSOL UNDER THE APPLICATION OF STILLAGE IN SUGAR CANE

ABSTRACT

The application of stillage is common management practice in the culture of sugar cane. Stillage is a liquid residue produced by alcohol distilleries and has a high content of nutrients and organic matter, which makes it, when applied to the soil, a fertilizer that is take from the sugar cane field itself. Thus it is expected that stillage can also alter the physical atributes of the the soil assess the physical atributes of the soil in areas cultivated with sugar cane after the application of stillage. The objective of this study was to assess the physical attributes of the soil in areas cultivated with sugar cane, after the application of stillage. The study was conducted in red dystrophic latosol, sandy clay frank at the BUNGUE Monte Verde plant in municipality of Ponta Porã, MS, Brasil. We used the (4x4), factorial design evaluating 4 applications of stillage (0, 450, 600 and 750 m³ ha⁻¹) and their physical attributes at four depths (0,0-0,5; 0,5-0,10; 0,10-0,20 and 0,20 – 0,40 m), with five repetitions. The undisturbed samples removed were at 38, 75 and 111 days after application with the help of volumetric rings between rows of the culture, to determine the density, macroporosity and total porosity. Two samples were also obtained with structure is conserved in the from of blocks (20x20x20 cm) in depth to each parcel and determining the stability of the aggregates by means of DMG, DMP, using aggregates retained on the sieve of 4,63 mm. The effects of the dosages and depths on the physical attributes were verified by regression analysis. Increased doses of stillage decreased soil bulk density and increased macroporosity, total porosity, the geometric diameter and weighted mean diameter of soil cultivated with 3 year old sugar cane. Harvest was done manually, after a full cycle of 10 months, in general, the productivity of sugar cane increased with the dosagens of stillage.

Keywords: Aggregation, soil physical quality, physical attributes

INTRODUÇÃO

O cultivo de cana-de-açúcar é amplamente difundido no Brasil, que é o maior produtor mundial, com mais de 8 milhões de hectares cultivados, com uma produção de 588 milhões de toneladas de cana, 37 milhões de toneladas de açúcar e 23 bilhões de litros de álcool, na safra 2011/12. Nessa mesma safra, em Mato Grosso do Sul, a área cultivada com cana-de-açúcar foi de 480,86 mil hectares, com uma produção de 37 milhões toneladas e produtividade média de 76,95 t ha⁻¹ (CONAB, 2011).

A produção brasileira de cana-de-açúcar não tem sido suficiente para continuar a atender a demanda nacional, o que leva o setor sucroalcooleiro a enxergar a necessidade de que se dobre a produção nos próximos 5 a 10 anos. Esse importante salto de produção vem se tornando realidade por meio da implantação de novas usinas, como acontece no estado de Mato Grosso do Sul. Roque et al. (2010) sugerem a exigência de um esforço concentrado na busca de um aumento significativo na produtividade da cultura. Ainda para esses autores, esse aumento na produção deverá ser pautado na otimização do uso das áreas de cultivo, o que torna relevante a adoção de um sistema de manejo da cana-de-açúcar que proporcione maiores produtividade e menores riscos de degradação do solo, elevando a sustentabilidade do sistema produtivo.

Com a importância do manejo do solo nas áreas canavieiras, a qualidade física do solo se torna de grande importância, pois está associada a um solo que permita uma melhor infiltração, retenção e disponibilização de água às plantas. Segundo Reichert et al. (2003) um solo com adequada qualidade física deve permitir as trocas de calor e de gases com a atmosfera e raízes de plantas, possibilitando o crescimento das raízes.

As técnicas de cultivo utilizadas por agricultores e empresas do setor, que em curto prazo favorecem o desenvolvimento da cultura, podem com o cultivo contínuo provocar danos à qualidade do solo (SOUZA et al., 2005). Entre os indicadores mais utilizados para avaliar as mudanças na qualidade física dos solos estão a densidade do solo, a porosidade total, a distribuição e o tamanho dos poros, a resistência à penetração, e o diâmetro médio de agregados, sendo o teor de matéria orgânica um importante atributo que influi nesses indicadores físicos.

Como subproduto da produção do álcool a partir da cana-de-açúcar, surge a vinhaça, sendo a sua aplicação em áreas cultivadas uma prática comum no manejo da

cultura. A vinhaça por conter grande concentração de matéria orgânica é tida como benéfica para melhoria da qualidade do solo, como citado por Santos (2008).

Silva (2006), estudando solos sob mata nativa e sob sistema com aplicação de vinhaça, relatou que houve aumento significativo nos valores do diâmetro médio ponderado dos agregados obtidos via úmida nos solos sob os sistemas com aplicação de vinhaça quando comparado com o sistema de sequeiro. O que reflete, sobre tudo, aos maiores teores de carbono orgânico total e matéria orgânica particulada resultante do manejo aplicado. Assim, o solo que recebeu vinhaça, apresentou o melhor resultado de estabilidade dos agregados entre os solos cultivados com cana-de-açúcar. Ao se incorporar a matéria orgânica contida na vinhaça ao solo, ela é colonizada por fungos, os quais a transformam em húmus, neutralizando a acidez do meio. Deste modo, o caminho para proliferação bacteriana, assim, quando adicionada como fertilizante, favorece também o desenvolvimento de microrganismos que atuam na mineralização e imobilização do nitrogênio e na sua nitrificação e fixação biológica, bem como de microrganismos participantes dos ciclos biogeoquímicos de outros elementos (SILVA et al., 2007).

Para Canellas et al. (2003), aplicações sucessivas de vinhaça por longo período de tempo podem aumentar o teor de matéria orgânica e, com isso, melhorar a condição física do solo. A principal propriedade física do solo afetada pela matéria orgânica é a agregação do solo. A partir do efeito da matéria orgânica sobre a agregação, indiretamente são afetadas as demais propriedades físicas do solo (BAYER e MIELNICZUK, 1999).

A matéria orgânica adicionada ao solo é responsável segundo Santos (2008) pela combinação de partículas primárias, microagregados e macroagregados em unidades estruturais maiores, o que se constitui no processo de agregação do solo. Segundo Silva et al. (2006) e Santos (2008) as mudanças nas propriedades químicas do solo promovidas pela aplicação da vinhaça podem alterar as propriedades físicas, como estabilidade de agregados. Já Braida (2004), observou que houve uma tendência de redução nos valores da densidade máxima do solo com aumento do teor da matéria orgânica no solo.

Dessa forma, sistemas de manejo com cana-de-açúcar que recebem aporte de resíduos orgânicos apresentam melhoria na estabilidade de agregados em água, principalmente na camada superficial, conforme relatado por (SILVA, 2003).

A matéria orgânica possui efeito determinante na formação e estabilização de agregados no solo. O balanço entre esses dois efeitos, que, por sua vez, depende da origem e estado de decomposição da matéria orgânica e irá determinar a estabilidade dos agregados do solo. De fato, a matéria orgânica pode aumentar a resistência dos agregados, dependendo do seu efeito sobre os atributos físicos do solo, atuando no processo de agregação e, por consequência na formação de espaço poroso (ZHANG et al., 1997; SANTOS, 2008). Assim, a matéria orgânica e a estabilidade dos agregados são interdependentes, onde a matéria orgânica atua para formar e estabilizar agregados nos diversos níveis hierárquicos e os agregados atua no sentido de proteger fisicamente a matéria orgânica por oclusão (SANTOS, 2008).

Vale ressaltar, que a agregação do solo interfere na qualidade física deste, pois segundo Vasconcelos et al. (2010) controla os movimentos internos de água, ar, calor e o crescimento de raízes. No mesmo contexto solos com altos teores de matéria orgânica têm maior capacidade de retenção de água em tensões menores, sendo seu efeito mais evidente nos solos arenosos (RAWLS et al., 2003).

Reichert e Timm (2004) relataram que com relação aos atributos físicos do solo e em específico sobre a porosidade do solo, constatam que esta é diretamente condicionada a densidade do solo. Pois quanto maior a densidade, menor será o volume do espaço poroso. Consequentemente quanto maior o teor de matéria orgânica no solo menor a densidade e maior a quantidade de macroporos e porosidade total (MARCOLIN, 2006).

Nesse contexto, objetivou-se com esse trabalho avaliar os atributos físicos do solo, como densidade, macroporosidade, porosidade total, diâmetro médio geométrico e diâmetro médio ponderado, em área cultivada com cana-de-açúcar, após aplicação de vinhaça.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em campo em área comercial da Usina Monte Verde (BUNGUE – SA), no município de Ponta Porã, MS, entre dezembro de 2010 e agosto de 2011. O local situa-se em latitude de 22° 16' 53'' S e longitude 55° 07' 56'' W, com altitude de 400 m. O clima da região de acordo com a classificação de Köppen é do tipo Cwa (mesotérmico úmido), com verão chuvoso e inverno seco. Durante o período de realização do experimento a precipitação total foi de 1059 mm.

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico, de textura franco argilo arenoso, com 60% de areia, 30% de argila e 10% de silte. As características químicas na camada de 0 - 20 cm foram: P = 4,23 mg dm⁻³; MO = 6,0 g kg⁻¹; pH (CaCl₂) = 4,5; pH (H₂O) = 5,1; K = 0,08 cmol_c dm⁻³; Ca²⁺ = 2,85 cmol_c dm⁻³; Mg²⁺ = 0,52 cmol_c dm⁻³; Al³⁺ = 0,0 cmol_c dm⁻³; H + Al = 2,66 cmol_c dm⁻³; SB = 3,45 cmol_c dm⁻³; CTC = 6,12 cmol_c dm⁻³; V% = 56,4, conforme metodologia descrita em (SILVA, 2009).

O delineamento experimental foi de blocos casualizados, com cinco repetições em esquema fatorial (4x4) sendo, quatro doses de vinhaça. (0; 450; 600 e 750 m³ha⁻¹) e quatro profundidades, (0,0-0,5; 0,5-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m), em parcelas de 24m² (6m x 4m).

A área vem sendo cultivada há três anos com cana-de-açúcar variedade RB 855453 de ciclo precoce, com espaçamento entre linhas de 1,5 m. O plantio da cana ocorreu no ano de 2008, utilizando preparo convencional do solo, que consistiu de uma subsolagem a 50 cm de profundidade seguida de duas gradagens pesadas e uma niveladora. A adubação de plantio foi com 250 kg ha⁻¹ da fórmula 10-30-10.

As doses de vinhaça foram aplicadas no dia 10 de dezembro de 2010 quando as plantas apresentavam cinco a seis folhas totalmente expandidas. A análise química da vinhaça pelo método de espectrometria de plasma ICP (ICAP 6000 Thermo) apresentou as seguintes características: pH = 4,30; condutividade = 2,39 mS/cm; salinidade = 1,2 ppt; P = 67,36 mg dm⁻³; K = 387,67 mg dm⁻³; Mg = 84,01 mg dm⁻³; Ca = 122,7 mg dm⁻³; S = 95,1 mg dm⁻³; Zn = 1,5 mg dm⁻³; Si = 8,23 mg dm⁻³; B = 0,035 mg dm⁻³; Fe = 3,31 mg dm⁻³; Cu = 0,32 mg dm⁻³; Mn = 7,22 mg dm⁻³; Al = 0,097 mg dm⁻³; Co = 0,013 mg dm⁻³; Cr = 0,031 mg dm⁻³; Ba = 0,0136 mg dm⁻³; Cd = 0,0003 mg dm⁻³; Ni = 0,0274 mg dm⁻³; Sr = 0,867 mg dm⁻³ e V = 0,0008 mg dm⁻³.

As coletas das amostras com estrutura preservada de solo foram realizadas aos 38, 75 e 111 dias após aplicação dos tratamentos. Essas amostras foram retiradas com auxílio de anéis volumétricos nas entrelinhas da cultura. Após o preparo das amostras, estas foram saturadas em uma bandeja de polipropileno por meio da elevação gradual de uma lâmina de água até atingirem dois terços da altura do anel, depois, foram levadas à mesa de tensão com nível de sucção correspondente a 60 cm de altura de coluna d'água para determinação da microporosidade, macroporosidade e porosidade total conforme descrito em (CLAESSEN, 1997). Após a determinação da microporosidade, as amostras foram levadas à estufa a 105 °C por 48 h para se determinar a densidade do solo pelo método do anel volumétrico.

Para a determinação da estabilidade dos agregados foram obtidas duas amostras com estrutura preservada na forma de blocos (20x20x20 cm), em trincheiras de (50x50x50 cm) em cada parcela e profundidade. Foram utilizados os agregados retidos na peneira de 4,63 mm por tamisamento via seca. Desse material foram utilizadas três subamostras de 15 g, sendo duas para cada jogo de peneiras, o que foi considerado como repetição 1 e 2, submetidos à agitação vertical em tanque com água por 15 min, com 30 oscilações por minuto. A terceira subamostra foi utilizada para determinar a umidade do solo. O solo que era retido em cada peneira era transferido para latas de alumínio de peso conhecido, que em seguida eram colocados em estufa para secarem a 105° C até peso constante. Os valores de diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) foram determinados de acordo com Kemper e Rosenau (1986).

A colheita da cana de açúcar foi realizada após um ciclo total de 10 meses. Foram coletados 10 colmos na área útil de cada parcela para determinação da produtividade em Mg ha^{-1} .

Os resultados de densidade do solo, macroporosidade, porosidade total, diâmetro médio geométrico e diâmetro médio ponderado dos agregados do solo foram submetidos à análise de regressão, sendo as equações obtidas avaliadas pelo teste F.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os valores de densidade do solo após trinta e oito dias de aplicação da vinhaça apresentaram um decréscimo linear com o aumento nas doses em todas as profundidades (Figura 1).

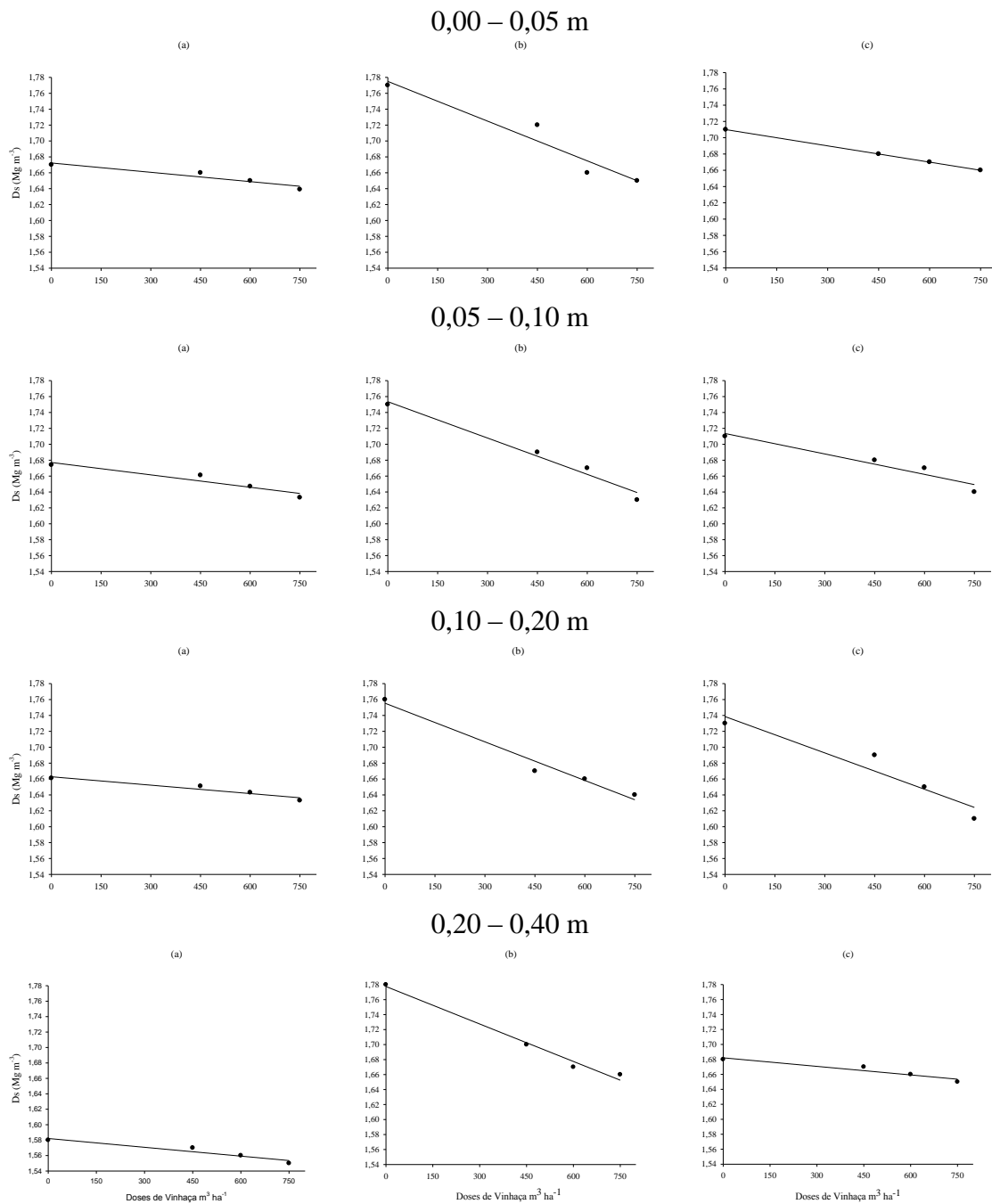


Figura 1. Densidade do solo em quatro profundidades de um Latossolo Vermelho distroférico sob aplicação de quatro doses de vinhaça aos 38 (a), 75 (b) e 111 (c) dias após aplicação da vinhaça.

As menores densidades foram encontradas quando se utilizou a dose de $750 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de vinhaça, o que pode ser explicado pelo maior fornecimento de eletrólitos e consequentemente maior concentração de cátions como o K e de matéria orgânica que favorece a floculação e consequentemente a formação de agregados estáveis. Tormena et al. (2002) trabalhando com Latossolos em diferentes manejo relata que é possível que o acúmulo de matéria orgânica e redução do tráfego contribuiu para reduzir a densidade do solo. Para Meurer (2010) os compostos orgânicos que constituem a matéria orgânica participam de ligações entre as partículas individuais do solo, atuando também como agentes cimentantes das unidades estruturais, promovendo agregação e diminuindo a densidade do solo.

Os maiores valores de densidade do solo foram observados nas camadas superficiais. Aparentemente, o efeito da transferência de pressão exercida pelos equipamentos e máquinas durante as operações de manejo da cultura, parecem exercer menor efeito na camada de 0,20 – 0,40 m. Nessa profundidade foram observados menores valores de densidade do solo, em torno de $1,55 \text{ Mg m}^{-3}$. Machado et al. (2010) encontraram em Latosolo Vermelho distroférico valores de densidade do solo próximos de $1,55 \text{ Mg m}^{-3}$. Resultados semelhantes também foram obtidos por Camilotti, et al. (2006) que encontraram valores de densidade do solo na camada de 0,20 – 0,40 m na ordem de $1,38 \text{ Mg m}^{-3}$ em Latosolo Vermelho distroférico cultivado com cana-de-açúcar após aplicação de vinhaça.

Aos 75 e 111 dias após aplicação da vinhaça a densidade do solo também diminuiu com o aumento da dose de vinhaça. A dose de $750 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ apresentou os menores valores de densidade do solo estando estes próximos a $1,63 \text{ Mg m}^{-3}$ para todas as profundidades. Vasconcelos et al. (2010) estudaram diferentes sistemas de manejo e profundidades após aplicação de vinhaça em Latosolo amarelo distrocoeso, e obtiveram valores médios de densidade em torno de $1,60 \text{ Mg m}^{-3}$. Segundo Assis e Lanças (2005) e Centurion et al. (2007), o aumento dos teores de matéria orgânica do solo promovido pela adição de vinhaça favorece a diminuição da densidade do solo, devido a melhoria nas condições de agregação do solo.

Com relação à macroporosidade, pode-se observar que houve aumento da ordem de 15,4 % da dose de 0 até $750 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de vinhaça (figura 2). A dose de $750 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ forneceu ao solo grande quantidade de matéria orgânica o que melhorou a sua estrutura, promoveu um aumento no volume de macroporos em todas as profundidades avaliadas até os 111 dias após a aplicação de vinhaça. Esse fato demonstra potencial de

estabilidade estrutural promovido pela vinhaça aplicada, durante o tempo de estudo considerado.

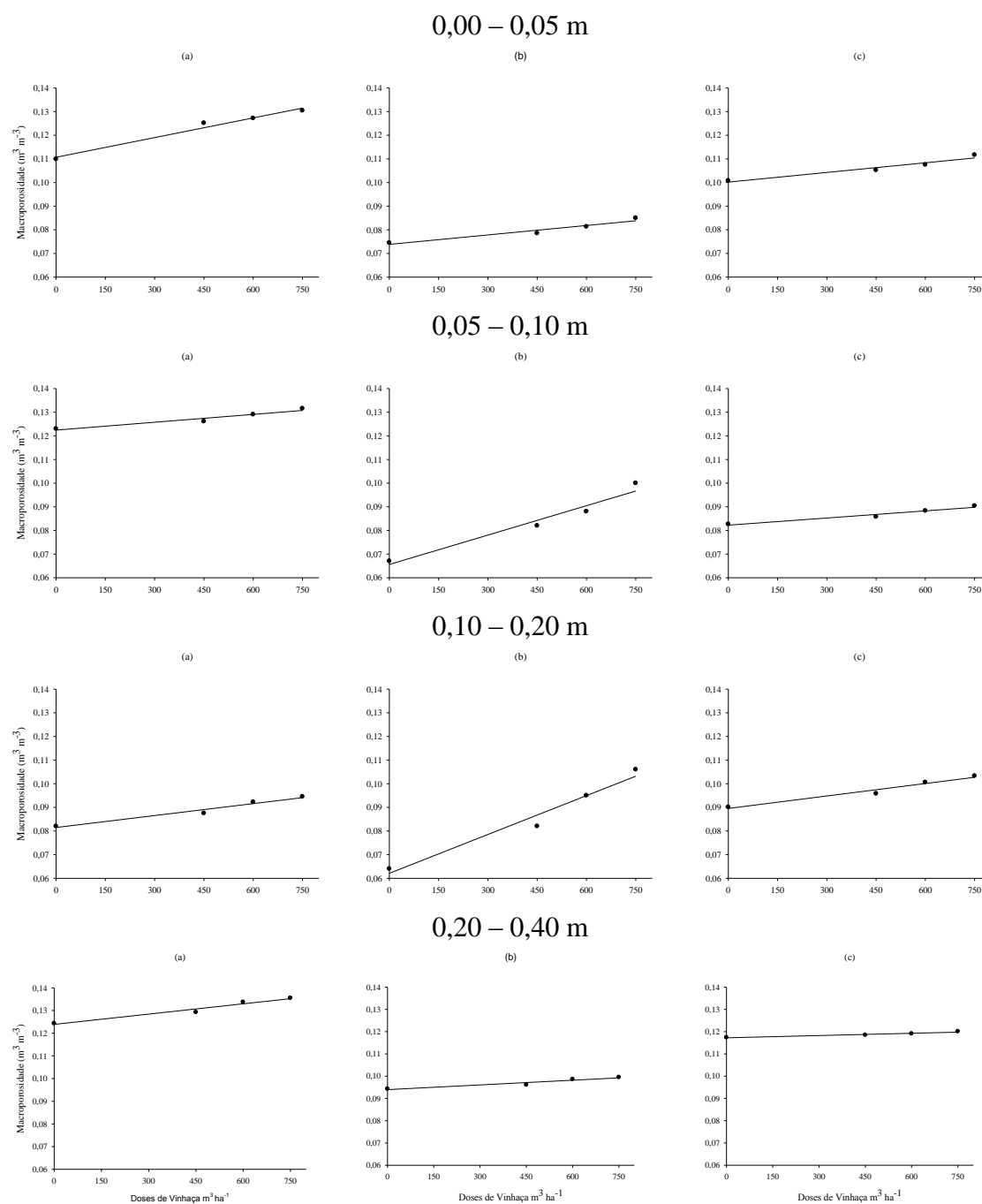


Figura 2. Macroporosidade em quatro profundidades de um Latossolo Vermelho distroférico sob aplicação de quatro doses de vinhaça em aos 38 (a), 75 (b) e 111 (c) dias após aplicação da vinhaça.

A classificação mais usual da porosidade refere-se à sua distribuição de tamanho sendo divididos em micro e macroporos. Com relação aos poros a infiltração de água no solo consiste na entrada de água pela superfície para o interior do solo, podendo ser

influenciado pelas propriedades físicas do solo. Com isso a infiltração de água pode refletir a condição física do solo. Sendo a infiltração controlada pelos poros maiores, ou seja, os macroporos. Também no sentido da qualidade física a aeração dos solos refere-se à habilidade de um solo atender a demanda respiratória do solo. Para isso, há necessidade de contínua troca de oxigênio e CO₂ entre a atmosfera e o solo e, para que isso ocorra, é de grande importância a presença de macroporos. O aumento da macroporosidade proporcionado pela aplicação de vinhaça foi benéfico ao solo, pois melhorou a sua qualidade física e conseqüentemente o desenvolvimento das plantas, principalmente da cana-de-açúcar que possui um sistema radicular que chega a maiores profundidades quando comparado a culturais anuais. Vale salientar, que o crescimento do sistema radicular das plantas ocorre principalmente pelos macroporos, sendo esse atributo um bom indicador da qualidade física do solo (BERGAMIN et al., 2010). Além disso, promove uma melhor oxigenação do solo e permite que a planta por meio do seu sistema radicular bem desenvolvido, explore um maior volume de solo, absorvendo maior quantidade de nutrientes e água, além de conferir à planta maior resistência à seca e outros fenômenos climáticos. Meurer (2010) destacou que a presença de macroporos no solo oferece melhores condições à infiltração de água e melhor troca de gases entre o solo e a atmosfera. Em estudos realizados por Silva (2006) destaca-se que o sistema de manejo com vinhaça proporcionou os maiores valores de macroagregação ao solo, refletindo positivamente na macroporosidade.

A porosidade total de um solo pode ser definida como a relação entre o volume de vazios e o volume total. A porosidade depende do tamanho, forma, arranjo e homogeneidade dos grãos. Se os grãos são de tamanho variado, a porosidade tende a ser menor, quando comparado a grãos uniformes, uma vez que os grãos menores ocupam os espaços vazios entre os maiores. A porosidade total corresponde à soma da porosidade efetiva e da retenção específica. É um parâmetro adimensional, que pode ser expresso por um valor absoluto.

Com relação à porosidade total observou-se que houve aumento linear dos seus valores com o incremento nas doses de vinhaça em todas as profundidades aos 38, 75 e 111 dias após aplicação da vinhaça (Figura 3), acompanhando os valores encontrados para a macroporosidade do solo. A porosidade total aumentou 6,8% com as doses de vinhaça (0,41 para 0,44 m³ m⁻³) em média. Em estudo realizado em Latossolo Vermelho distroférico Camilotti et al. (2006) obtiveram resultados para a porosidade total com valores em torno de 0,49 m³ m⁻³. Dantas et al. (2010) encontraram resultados em

Latossolo Vermelho distroférico em que a porosidade total é estatisticamente superior quando houve incremento de matéria orgânica em relação a testemunha. Os mesmos autores afirmam ainda que o solo tem sua porosidade total aumentada com aumento do seu teor de matéria orgânica.

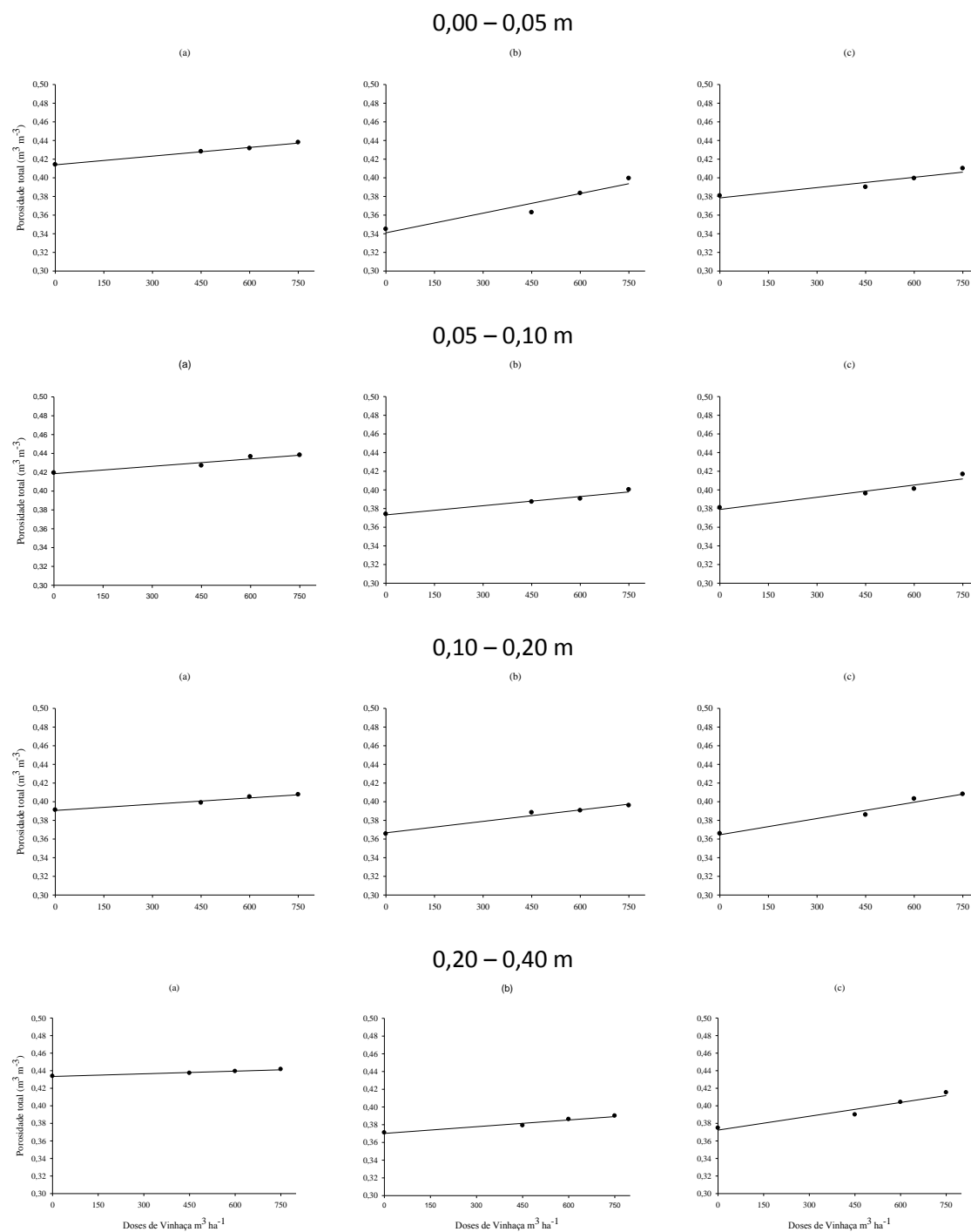


Figura 3. Porosidade total em quatro profundidades de um Latossolo Vermelho distroférico sob aplicação de quatro doses de vinhaça aos 38 (a), 75 (b) e 111 (c) dias após aplicação da vinhaça.

Ao observar os dados da Figura 4, nota-se aumento médio de 33% no diâmetro médio geométrico (DMG) com aumento das doses de vinhaça nas três primeiras profundidades, o que evidencia que os agregados desta profundidade são mais suscetíveis aos tratamentos aplicados. Já na profundidade de 0,20 – 0,40 m ocorreram aumento de DMG da ordem de 28%.

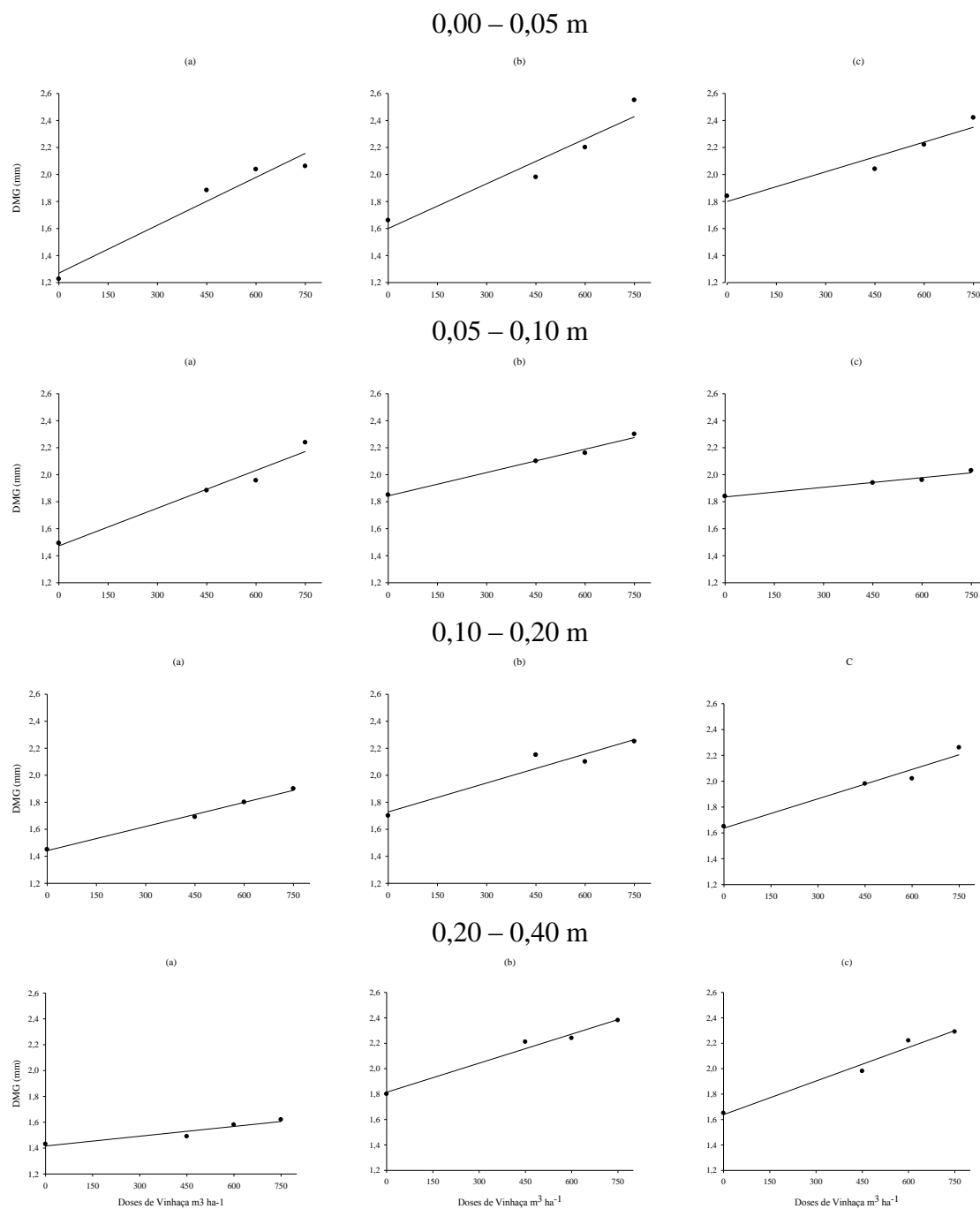


Figura 4. Diâmetro médio geométrico (DMG) em quatro profundidades de um Latossolo Vermelho distroférrico sob aplicação de quatro doses de vinhaça em três épocas 38 (a), 75 (b) e 111 (c) dias após aplicação da vinhaça.

O aumento do diâmetro médio geométrico está ligado diretamente com a matéria orgânica, onde segundo Meurer (2010) a maior estabilidade que a matéria orgânica promove aos agregados também dificulta a dispersão e o arraste das partículas pelas águas das chuvas, aumentando a resistência do solo à erosão. Vasconcelos et al. (2010) também relataram maior resistência à desintegração pelo peneiramento via úmida de agregados de um Latossolo Vermelho distroférico cultivado com cana-de-açúcar, após adição de resíduos orgânicos. Heid et al. (2009) ao comparar sistemas de cultivo em Latossolo Vermelho distroférico verificaram aumento de DMG e DMP em áreas sob pastagem ocasionada pelo maior teor de matéria orgânica. Segundo os mesmos autores a matéria orgânica atua como elemento estabilizador da estrutura, promovendo a formação de agregados maiores e mais estáveis. Com relação à estabilidade dos agregados também foi calculado o DMP, com ganhos médios de 16,1% aos 38, 75 e 111 dias após aplicação da vinhaça nas doses de 0 até 750 m³ ha⁻¹ em todas as profundidades (Figura 5).

A vinhaça por ser fonte de matéria orgânica e cátions, quando fornecida em grandes quantidades favoreceu a floculação e a estabilidade dos agregados, o que está de acordo com Silva et al. (2006), que demonstraram a importância dos compostos orgânicos na estabilização dos agregados do solo por meio do DMP, corroborando também Meurer (2010) que destaca o fato, de que a espessura da dupla camada difusa afeta a floculação e dispersão das partículas do solo dependendo da concentração e tipo de eletrólito. É de suma importância que a matéria orgânica seja fornecida por longos períodos no sistema de produção da cana-de-açúcar, o que é possível através da aplicação da vinhaça, que melhora tanto as características químicas como os atributos físicos do solo.

Dessa forma, a estabilidade dos agregados pode ser usada como um índice de sustentabilidade agrícola, uma vez que é influenciada por atributos químicos, físicos e biológicos do solo, relacionadas não somente com a susceptibilidade do solo à erosão, mas também a diversas outras características de interesse agrônomo. Mendes et al. (2003) estudaram sistemas de uso em um Latossolo Vermelho distroférico e observaram maiores valores de estabilidade de agregados em área com maior teor de matéria orgânica. Assim, fica evidente que sistemas de manejo de cana-de-açúcar que receberam maiores aportes de vinhaça e conseqüentemente maiores doses de resíduos orgânicos apresentaram maior estabilidade de agregados em água, o que vem de acordo

com (ROTH et al., 1991; SILVA, 2003; OLIVEIRA, 2008 e VASCONCELOS et al., 2010).

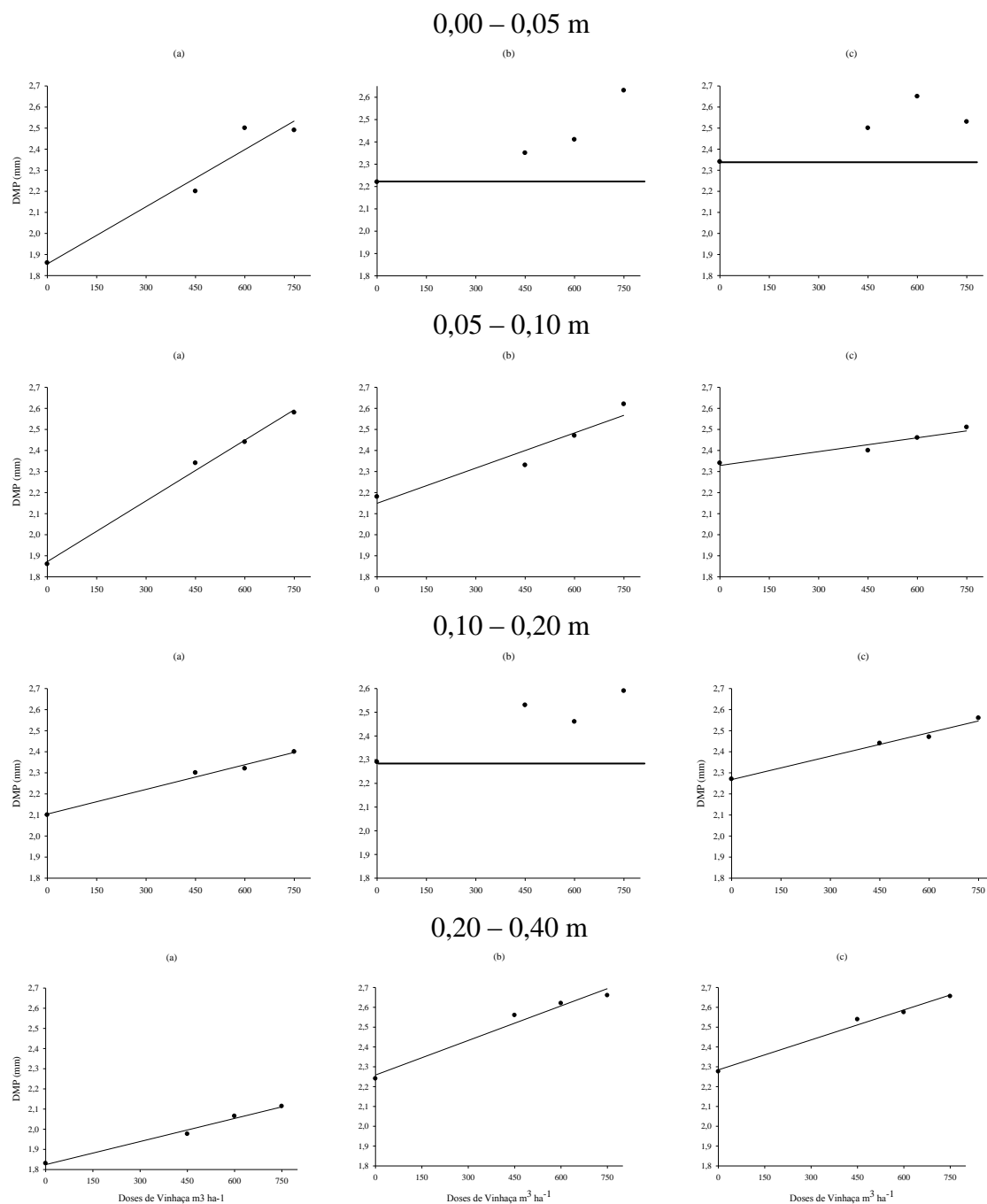


Figura 5. Diâmetro médio ponderado (DMP) em quatro profundidades de um Latossolo Vermelho distroférico sob aplicação de quatro doses de vinhaça em três épocas 38 (a), 75 (b) e 111 (c) dias após aplicação da vinhaça.

Os resultados das análises de regressão aos 38, 75 e 111 dias após aplicação da vinhaça mostraram que todos os atributos físicos do solo foram influenciados pelas doses de vinhaça e profundidades (Quadros 1 a 5).

Quadro 1. Equações de regressão da densidade do solo (Mg/m^3) em função das doses em cada profundidade.

0,00 – 0,05 m			
Equações de regressão	R^2	F	Prob.
(a) $1,67 - 3,90 \cdot 10^{-5}D$	0,85	19,03	0,05
(b) $1,77 - 2,00 \cdot 10^{-4}D$	0,89	26,92	0,04
(c) $1,71 - 6,67 \cdot 10^{-5}D$	0,99	204	<0,01
0,05 – 0,10 m			
(a) $1,67 - 5,19 \cdot 10^{-5}D$	0,85	18,84	0,05
(b) $1,75 - 2,00 \cdot 10^{-4}D$	0,96	78,77	0,01
(c) $1,71 - 8,57 \cdot 10^{-5}D$	0,88	24,92	0,04
0,10 – 0,20 m			
(a) $1,66 - 3,52 \cdot 10^{-5}D$	0,88	23,81	0,04
(b) $1,75 - 2,00 \cdot 10^{-4}D$	0,96	75,80	0,01
(c) $1,73 - 2,00 \cdot 10^{-4}D$	0,87	21,33	0,04
0,20 – 0,40 m			
(a) $1,58 - 3,80 \cdot 10^{-5}D$	0,87	21,33	0,04
(b) $1,77 - 2,00 \cdot 10^{-4}D$	0,97	140,00	<0,01
(c) $1,68 - 3,80 \cdot 10^{-5}D$	0,87	21,33	0,04

(a) 38, (b) 75 e (c) 111 dias após aplicação da vinhaça.

Quadro 2. Equações de regressão da macroporosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) em função das doses em cada profundidade.

0,00 – 0,05 m			
Equações de regressão	R^2	F	Prob.
(a) $0,1107 - 2,7744 \cdot 10^{-5}D$	0,97	85,73	0,01
(b) $0,0738 - 1,3301 \cdot 10^{-5}D$	0,93	30,76	0,03
(c) $0,1002 - 1,3615 \cdot 10^{-5}D$	0,93	30,80	0,03
0,05 – 0,10 m			
(a) $0,1224 - 1,1059 \cdot 10^{-5}D$	0,93	28,27	0,03
(b) $0,0656 - 4,1429 \cdot 10^{-4}D$	0,95	44,85	0,02
(c) $0,0822 - 1,0067 \cdot 10^{-5}D$	0,95	41,07	0,02
0,10 – 0,20 m			
(a) $0,0815 - 1,6828 \cdot 10^{-5}D$	0,96	55,04	0,01
(b) $0,0621 - 5,4762 \cdot 10^{-5}D$	0,96	55,39	0,01
(c) $0,0895 - 1,7576 \cdot 10^{-5}D$	0,96	55,44	0,01
0,20 – 0,40 m			
(a) $0,1239 - 1,5117 \cdot 10^{-5}D$	0,96	50,81	0,01
(b) $0,0940 - 7,0529 \cdot 10^{-6}D$	0,91	22,77	0,04
(c) $0,1172 - 3,4012 \cdot 10^{-5}D$	0,94	32,70	0,03

(a) 38, (b) 75 e (c) 111 dias após aplicação da vinhaça.

Quadro 3. Equações de regressão da porosidade total ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) em função das doses em cada profundidade.

0,00 – 0,05 m			
Equações de regressão	R ²	F	Prob.
(a) $0,4139 - 3,1070 \cdot 10^{-5}D$	0,99	359,81	<0,01
(b) $0,3410 - 7,0238 \cdot 10^{-5}D$	0,91	21,55	0,04
(c) $0,3785 - 3,6810 \cdot 10^{-5}D$	0,85	18,15	0,05
0,05 – 0,10 m			
(a) $0,4185 - 2,6190 \cdot 10^{-5}D$	0,92	26,14	0,03
(b) $0,3732 - 3,2810 \cdot 10^{-5}D$	0,96	53,64	0,01
(c) $0,3790 - 4,3667 \cdot 10^{-5}D$	0,92	22,98	0,04
0,10 – 0,20 m			
(a) $0,3906 - 2,2406 \cdot 10^{-5}D$	0,97	66,10	0,01
(b) $0,3667 - 4,0952 \cdot 10^{-5}D$	0,97	75,03	0,01
(c) $0,3646 - 5,8048 \cdot 10^{-5}D$	0,96	55,61	0,01
0,20 – 0,40 m			
(a) $0,4334 - 1,0156 \cdot 10^{-5}D$	0,97	64,80	0,01
(b) $0,3702 - 2,5286 \cdot 10^{-5}D$	0,96	50,29	0,01
(c) $0,3723 - 5,2476 \cdot 10^{-5}D$	0,94	32,19	0,03

(a) 38, (b) 75 e (c) 111 dias após aplicação da vinhaça.

Quadro 4. Equações de regressão do diâmetro médio geométrico (mm) em função das doses em cada profundidade.

0,00 – 0,05 m			
Equações de regressão	R ²	F	Prob.
(a) $1,2700 - 2,1 \cdot 10^{-3}D$	0,93	41,73	0,02
(b) $1,6004 - 1,1 \cdot 10^{-3}D$	0,87	21,35	0,04
(c) $1,8000 - 7,0 \cdot 10^{-4}D$	0,87	22,59	0,04
0,05 – 0,10 m			
(a) $1,4731 - 9,0 \cdot 10^{-4}D$	0,94	51,51	0,01
(b) $1,8432 - 6,0 \cdot 10^{-4}D$	0,97	139,77	<0,01
(c) $1,8354 - 2,0 \cdot 10^{-4}D$	0,94	57,80	0,01
0,10 – 0,20 m			
(a) $1,4421 - 6,0 \cdot 10^{-4}D$	0,99	376,51	<0,01
(b) $1,7286 - 7,0 \cdot 10^{-4}D$	0,87	22,50	0,04
(c) $1,6368 - 8,0 \cdot 10^{-4}D$	0,93	43,53	0,02
0,20 – 0,40 m			
(a) $1,9801 - 6,0 \cdot 10^{-4}D$	0,87	18,79	0,04
(b) $1,8146 - 8,0 \cdot 10^{-4}D$	0,96	91,02	0,01
(c) $1,6386 - 9,0 \cdot 10^{-4}D$	0,96	81,00	0,01

(a) 38, (b) 75 e (c) 111 dias após aplicação da vinhaça.

Quadro 5. Equações de regressão do diâmetro médio ponderado (mm) em função das doses em cada profundidade.

0,0 – 0,05 m			
Equações de regressão	R ²	F	Prob.
(a) 1,8554 – 9,0 10 ⁻⁴ D	0,91	31,79	0,03
(b) 2,1861 – 5,0 10 ⁻⁴ D	0,74	9,71	0,09
(c) 2,3571 – 3,0 10 ⁻⁴ D	0,54	4,57	0,16
0,05 – 0,10 m			
(a) 1,8721 – 1,0 10 ⁻³ D	0,99	354,82	<0,01
(b) 2,1493 – 6,0 10 ⁻⁴ D	0,87	22,17	0,04
(c) 2,3289 – 2,0 10 ⁻⁴ D	0,89	26,04	0,03
0,10 – 0,20 m			
(a) 2,1043 – 4,0 10 ⁻⁴ D	0,97	124,52	<0,01
(b) 2,3025 – 4,0 10 ⁻⁴ D	0,75	10,42	0,08
(c) 2,2679 – 4,0 10 ⁻⁴ D	0,97	135,20	<0,01
0,20 – 0,40 m			
(a) 2,2011 – 1,0 10 ⁻⁴ D	0,99	158,98	<0,01
(b) 2,2586 – 6,0 10 ⁻⁴ D	0,95	64,71	0,01
(c) 2,2846 – 5,0 10 ⁻⁴ D	0,98	153,52	<0,01

(a) 38, (b) 75 e (c) 111 dias após aplicação da vinhaça.

A produtividade da cana-de-açúcar cresceu linearmente da menor para maior dose de vinhaça, com ganhos médios de 3 Mg ha⁻¹ (Figura 6). Os resultados da produtividade estão relacionados aos benefícios decorrentes das doses da vinhaça na qualidade física do solo, que proporcionaram melhores condições para o desenvolvimento radicular e do colmo da cultura da cana-de-açúcar e conseqüentemente no crescimento da parte área e no acúmulo de fotoassimilados pela planta. Segundo Malavolta, et al. (2006) o fornecimento de K favorece maior intensidade de síntese e acúmulo de sacarose. Camilotti et al. (2006) constataram que a vinhaça como fonte de K também foi eficiente para produtividade da cana soca de 3° e 4° corte. Os mesmos autores ao estudarem treze experimentos em cana soca com doses de vinhaça encontraram resultados em que a vinhaça proporcionou aumento de produção da cana soca, o que corrobora Barbosa et al. (2006); Tasso Júnior et al. (2007) encontraram maiores produtividades na cana soca com aplicação de até 270 m³ ha⁻¹ de vinhaça combinado com adubos minerais em Latossolo Vermelho Amarelo. Características físicas como densidade, porosidade, aeração, capacidade de retenção e infiltração de água, entre outras, que são fundamentais para a capacidade produtiva também se alteram com variações nos teores de matéria orgânica (SANTOS, et al., 2008).

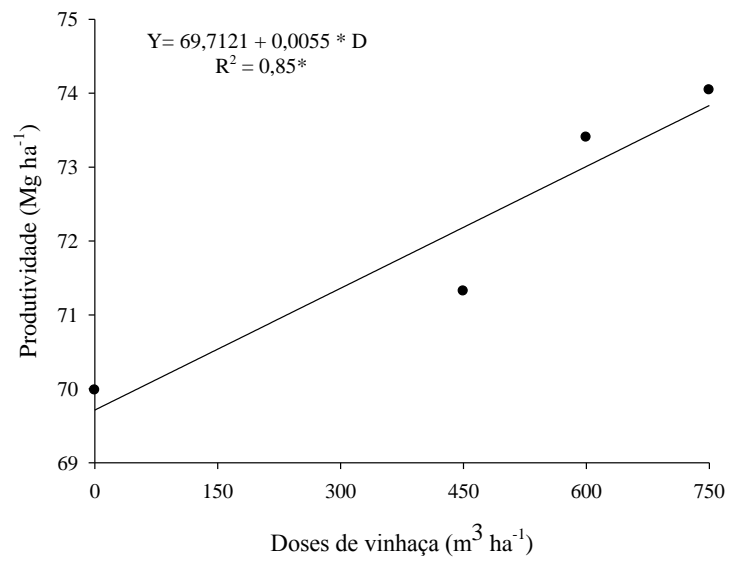


Figura 6. Produtividade da cana-de-açúcar em função das doses de vinhaça em um Latossolo Vermelho distroférrico.

CONCLUSÕES

A aplicação de vinhaça diminui a densidade do solo e aumenta a macroporosidade, a porosidade total, o diâmetro médio geométrico e o diâmetro médio ponderado de solo cultivado com cana-de-açúcar.

A aplicação de doses crescentes de vinhaça aumenta linearmente a produtividade da cana-de-açúcar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSIS, R. L.; LANÇAS, K. P. Avaliação da compressibilidade de um nitossolo vermelho distroférico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.507 – 514, 2005.

BARBOSA, V.; DURINGA, A. M. P. R.; GLÓRIA, N. A.; MUTTON, M. A. Uso de vinhaça concentrada na adubação de soqueira da cana-de-açúcar. **SATAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v. 34, n. 6, p. 26 – 31, 2006.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica, IN: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais & subtropicais**. Metropole, Porto Alegre, 2. Ed, p. 654, 2008.

BERGAMIN, A. C.; **Atributos físicos, sistemas radiculares e suas relações com a produtividade de milho em Latossolo vermelho distroférico submetido à compactação induzida**. 2009. 76 f. Dissertação (Mestrado em produção vegetal) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados – MS.

BRAIDA, J. A. **Matéria orgânica e resíduos vegetais na superfície do solo e suas relações como comportamento mecânico do solo sob plantio direto**. 2004. 97 f. Tese (Doutorado em ciências do solo) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS.

CAMILOTTI, F.; ANDRIOLI, I.; MARQUES, M. O.; SILVA, A. R. S.; JÚNIOR, L. C. T.; NOBILE, F. O. Atributos físicos de um latossolo cultivado com cana-de-açúcar após aplicações de lodo de esgoto e vinhaça. **Engenharia Agrícola Jaboticabal**, v.26, n.3, p.738-747, 2006.

CAMILOTTI, F.; **Efeitos no solo e em plantas de cana-de-açúcar cultivadas com lodo de esgoto e vinhaça**. 2006. 76 f. Tese (Doutorado em produção vegetal) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal – SP.

CANELLAS, L.P.; VELLOSO, A.C.X.; MARCIANO, C.R.; RAMALHO, J.F.G.P.; RUMJANEK, V.M.; REZENDE, C.E. & SANTOS, G.A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhicho e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.935-944, 2003.

CENTURION, J. F. FREDDI, O. S.; ARATANI, R. G.; METZNER, A. F. M.; BEUTLER, A. N.; ANDRIOLI, I.; 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**, V. 31: p.199-209, 2007.

CLAESSEN, M.E.C. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1997. 212p.

CONAB. **Acompanhamento da safra Brasileira.** Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_08_30_13_41_19_boletim_cana_portugues_-_agosto_2011_2o_lev..pdf. Acesso em: 11 nov. 2011.

DANTAS, V. B. MORAIS, F. A. PEREIRA, J. O. CALLEGARI, R. A. GÓES, G. B. Comportamento físico de um Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes doses de palhada de aveia. **Revista verde.** Mossoró. V. 5, p. 06 – 11, 2010.

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

HEID, D. U. VITORINO, A. C. T. TIRLONI, C. HOFFMANN, N. T. K. Frações orgânicas e estabilidade dos agregados de um Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes usos. **Revista Ciências. Agrárias.** Bélem, v. 51, p. 143 – 160, 2009.

KEMPER, W. D. ROSENAU, R. C. Aggregate stability and size distribution. In: Klute, A. **Methods of soil analysis – physical and mineralogical methods.** 2 ed. Madison: ASA – SSSA, 1986, p. 425 – 441.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: Relações solo-planta.** São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1979. 479p.

MACHADO, W.; TELLES, T. S.; FILHO, J. T.; GUIMARÃES, M. F.; ALVES, G. B.; BORGES, J. L. B. Physical properties of a rhodic haplustox under two sugarcane harvesting systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.1803-1809, 2010.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas.** São Paulo: Editora Agronômicas Ceres, 2006. 638 p.

MARCOLIN, C. D. **Propriedades físicas de Nitossolo e Latossolos argilosos sob plantio direto.** 2006. 89 f. Dissertação (Mestrado em agronomia) Universidade de Passo Fundo. Passo Fundo – RS.

MENDES, I. C.; SOUZA, L. V.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Propriedades biológicas em agregados de um Latossolo Vermelho-Escuro sob plantio convencional e direto no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.435-443, 2003.

MEURER, E. J. **Fundamentos de Química do Solo.** 4^a. Ed. Porto Alegre: Editora Evangraf Ltda., 2010. 266 p.

OLIVEIRA, V. S. **Compactação em solos coesos dos tabuleiros costeiros de Alagoas.** 2008. 81 f. Tese (Doutorado em Solos) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife – PE.

RAWLS, W. J.; PACHEPSKY, Y. A.; RITCHIE, J. C.; SOBECKI, T. M.; BLOODWORTH, H. Effect of soil organic carbon on soil water retention. **Geoderma**, v.116, P. 61 – 76, 2003.

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

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

ROQUE, R. A. O.; SOUZA, Z. M.; BARBOSA, R. S.; SOUZA, G. S. Controle de tráfego agrícola e atributos físicos do solo em área cultivada com cana-de-açúcar. **Pesquisa agropecuária Brasileira**, v.45, n.7, p.744-750, jul. 2010.

ROTH, C. H.; CASTRO FILHO, C.; MEDEIROS, G. B. Análise de fatores físicos e químicos relacionados com agregados de um latossolo roxo distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.15, p. 241-248, 1991.

SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais & subtropicais**. Metropole, Porto Alegre, 2. Ed, p. 654, 2008.

SILVA, A. J. N.; CABEDA, S. V.; CARVALHO, F. G.; LIMA, J. F. W. F. Alterações físicas de um argissolo amarelo sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.1, p.76-83, 2006.

SILVA, C. S. EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. Ed. Brasília: Editora Embrapa Informação e Tecnologia., 2009. 627p.

SILVA, M. A. S.; GRIEBELER, N. P.; BORGES, L. C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.1, p.108–114, 2007.

SILVA, V. R. **Propriedades físicas e hídricas em solos sob diferentes estados de compactação**. 2003. 171 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS.

SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V.; CARVALHO, F. G. Matéria orgânica e propriedades físicas de um argissolo amarelo coeso sob sistemas de manejo com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.3, p.579-585, 2006.

SOUZA, Z. M.; BEUTLER, A. N.; MELLO, V. P.; MELLO, W.J. Estabilidade de agregados e resistência à penetração em latossolos adubados por cinco anos com biossólido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.1, p.17 – 23, 2005.

VASCONCELOS, R. F. B.; CANTALICE, J. R. B.; OLIVEIRA, V. S.; COSTA, Y. D. J.; CAVALCANTE, D. M.; Estabilidade de agregados de um latossolo amarelo distrocoeso de tabuleiro costeiro sob diferentes aportes de resíduos orgânicos da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.309-316, 2010.

TASSO JÚNIOR, L. C. T.; MARQUES, M. O.; FRANCO, A.; NOGUEIRA, G. A.; NOBILE, F.; CAMILOTTI, F.; SILVA, A. R. Produtividade e qualidade de cana-de-açúcar cultivada em solo tratado com lodo de esgoto, vinhaça e adubos minerais. **Engenharia Agrícola Jaboticabal**, v. 27, n.1, p. 276 – 283, Jan/abr. 2007.

TORMENA, C. A. BARBOSA, M. C. COSTA, A. C. S. C. GONÇALVEZ, C. A. G. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolos cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**, v. 59, n.4, p. 795 – 801, 2002.

YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal of the America Society Agronomy**, v. 28, p. 337-351, 1936.

ZHANG, X. Y.; CRUSE, R. M.; SUI, Y. Y.; JHAO, Z. Soil compaction induced by small tractor traffic in northeast china. **Soil science society of America journal**, v.70, n.2, p. 613 – 619, 2006.

ARTIGO II

ÍNDICE DE DISPERSÃO DE AGREGADOS EM UM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO COM APLICAÇÃO DE VINHAÇA

RESUMO

O uso de ultrassom na avaliação do índice de dispersão de agregados tem sido empregado para determinação da qualidade estrutural do solo, ajudando no entendimento dos mecanismos que alteram a estabilidade de agregados do solo. Objetivou-se com esse trabalho avaliar o efeito da vinhaça na agregação do solo, medida pelo índice de dispersão após a sonificação dos agregados. O estudo foi realizado em um Latossolo Vermelho distroférrico, de textura franco argilo arenoso, na usina monte verde – BUNGUE, no município de ponta porã, MS. O trabalho foi realizado em esquema fatorial (4x4) sendo avaliadas quatro doses de vinhaça (0,0; 450; 600 e 750 m³ ha⁻¹) e os atributos do solo avaliados em quatro profundidades (0,0-0,5; 0,5-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m), em cinco repetições. Para a determinação do índice de dispersão dos agregados (ID) foram obtidas amostras de solo com estrutura preservada na forma de blocos (20x20x20 cm) aos 38, 75 e 111 dias após aplicação das doses de vinhaça, sendo as amostras submetidas ao tamisamento e foram utilizados os agregados retidos na peneira de 4,63 mm. As sonificações foram feitas utilizando um aparelho Misonix, modelo XL2020, operando a 100% da potência nominal. Com o aumento das doses de vinhaça houve redução linear no índice de dispersão e aumento da estabilidade dos agregados do solo cultivado com cana soca de 3^a ano. A colheita foi realizada manualmente, após um ciclo total de 10 meses, de maneira geral, a produtividade da cana-de-açúcar aumentou com as doses de vinhaça.

Palavras chave: Ultrassom, qualidade física do solo, cana-de-açúcar, estabilidade de agregados

DISPERSION INDEX OF AGGREGATES OF RED DYSTROPHIC LATOSOL WITH APPLICATION OF STILLAGE

ABSTRACT

The use of ultrasound in the evaluation index of dispersion of aggregates have been used for determining the quality of the soil, to help in understanding the mechanisms that change the stability of the soil aggregates. The objective of this study was to assess the effect of stillage on soil aggregation, measured by the dispersion of the aggregates after sonification. The study was conducted in an Red dystrophic Latosol, sandy clay frank, at the BUNGUE Monte Verde plant in the municipality of Ponta Porã, MS, Brasil. We used the (4x4) factorial design, evaluated 4 applications of stillage (0, 450, 600 and 750 m³ ha⁻¹) and their soil characteristics measured at four depths (0,0-0,5; 0,5-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,40 m) with five repetitions. To determine the rate of dispersion of aggregates (ID) were obtained from soil samples were preserved in the structure of blocks (20x20x20 cm) at 38, 75 and 111 days after application of stillage, and the samples were subjected to sift, using aggregates retained on the sieve of 4,63 mm. The sonification were made using a Misomix apparatus, Model XL 2020, operated at 100% rated power. With increasing of stillage linear reduction in the rate of increase in the dispersion and aggregate stability of soils cultivated with 3 year old sugar cane. Harvest was done manually, after a full cycle of 10 months, in general, the productivity of sugar cane increased with the dosagens of stillage.

Keywords: Ultrasound, Physical soil quality, sugar cane, aggregate stability

INTRODUÇÃO

A qualidade física do solo pode ser estimada por meio de inúmeras metodologias, se destacando entre as técnicas usuais a de curva de compactação do solo com ensaio de proctor, pressão de pré-consolidação, intervalo hídrico ótimo, índice S e estabilidade de agregados via úmida com agitação em tanque com água e, mais recentemente, com uso do aparelho de ultrassom. A qualidade do solo é um atributo intrínseco deste, a qual pode ser inferida a partir de suas características e propriedades ou observações indiretas (LIER, 2010).

O uso do ultrassom em estudos de física do solo vem ganhando espaço na literatura tanto em estudos de textura (VITORINO, 2001), como no estudo de estabilidade de agregados, com a vantagem que o método permite a definição do nível ideal de energia para a dispersão dos agregados do solo (SÁ, 2002). Com isso, pode-se estabelecer um índice de dispersão que tenha relação com a estabilidade dos agregados do solo. Nesse sentido podem ser citados os trabalhos de Sá (2002) e Ribeiro (2006), que utilizaram esse indicador no estudo da estabilidade de agregados de solos. Esses autores observaram que maiores diferenças na estabilidade de agregados foram determinadas com o uso dos níveis de energia entre 36,3 e 72,5 J mL⁻¹.

Se por um lado é importante se ter um bom método para o procedimento analítico da determinação do índice de dispersão, que permita o estabelecimento da quantidade de energia necessária para destruição do agregado, permitindo comparação mais ampla dos dados, por outro, é preciso considerar que existem diversos efeitos de tratamentos impostos por manejos que alteram a estabilidade dos agregados do solo. Isso faz com que, os fatores que alteram a dinâmica da matéria orgânica do solo, ou a composição iônica da solução do solo, que atuam na floculação e na estabilização das unidades estruturais precisam ser mais bem entendidos.

Nesse sentido, o uso de vinhaça em áreas cultivadas com cana-de-açúcar tem sido uma prática rotineira nas regiões produtoras, de forma a se dar um uso adequado a esse co-produto da produção de álcool. A vinhaça é rica em matéria orgânica e em nutrientes que podem promover mudanças estruturais nos solos. Além da matéria orgânica os óxidos de ferro e de alumínio são os agentes cimentantes que mais contribuem para agregação do solo (VITORINO et al., 2003; PASSARIM et al., 2007 e SANTOS, 2008).

Outro fator que afeta a floculação e a dispersão das partículas do solo é a espessura da dupla camada difusa. Esta espessura é afetada, pela concentração e pelo tipo de eletrólito presente no meio de dispersão. Cátions com alto grau de hidratação formam complexos de esfera externa e são chamados de dispersantes, aumentando a distância entre as partículas. Já cátions com baixo grau de hidratação formam complexos de esfera interna e minimizam as forças de repulsão e são considerados floculantes (MEURER, 2010). Segundo esse autor a matéria orgânica do solo promove maior estabilidade aos agregados, dificultando a dispersão. Silva et al. (2006) citam que a aplicação de vinhaça promove mudanças nos atributos químicos do solo, podendo também alterar seus atributos físicos, principalmente a estabilidade de agregados e a dispersão de argila do solo.

Após a aproximação das partículas minerais, a matéria orgânica apresenta importância fundamental como um dos fatores determinantes da estabilização dos agregados (SANTOS 2008). Neste sentido, a vinhaça tem potencial de alterar os atributos físicos do solo por conter grande quantidade de matéria orgânica e elevada concentração de potássio.

Entre os atributos físicos do solo a agregação tem sido utilizada como uma das ferramentas para avaliar a qualidade do solo (NEVES et al., 2006) e a sua determinação com a utilização de ultrassom ainda tem sido pouco estudada. Em estudos de física do solo, existe a necessidade de se acrescentar novas informações sobre o uso da energia ultrassônica em avaliações de agregação, o que torna possível a consideração de aspectos ligados a essa tecnologia em estudos que levam em conta as diferenças impostas por manejos que refletem em aumento da sustentabilidade agrícola.

Objetivou-se com esse trabalho avaliar o índice de dispersão por meio do uso de energia ultrassônica em agregados de um Latossolo Vermelho distroférico sob aplicação de vinhaça.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado a campo na área comercial da Usina Monte Verde (BUNGUE – SA), no município de Ponta Porã, MS, entre dezembro de 2010 e agosto de 2011. O local situa-se em latitude de 22° 16' 53'' S e longitude 55° 07' 56'' W, com altitude de 400 m. O clima da região de acordo com a classificação de Köppen é do tipo Cwa (mesotérmico úmido), com verão chuvoso e inverno seco. Durante a condução do experimento a precipitação pluviométrica total foi de 1.059 mm.

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico de textura franco argilo arenoso, com 60% areia, 30% de argila e 10% de silte. As características químicas na camada de 0 - 20 cm foram: P = 4,2 mg dm⁻³; MO = 6,0 g kg⁻¹; pH (CaCl₂) = 4,5; pH (H₂O) = 5,4; K = 0,08 cmol_c dm⁻³; Ca²⁺ = 2,85 cmol_c dm⁻³; Mg²⁺ = 0,52 cmol_c dm⁻³; Al³⁺ = 0,0 cmol_c dm⁻³; H + Al = 2,66 cmol_c dm⁻³; SB = 3,45 cmol_c dm⁻³; CTC = 6,11 cmol_c dm⁻³; V% = 56,5 conforme metodologia descrita em (SILVA, 2009). Além da análise química de caracterização da área também foram realizadas análises complementares dos teores de potássio e matéria orgânica para todas as profundidades e doses utilizadas.

O delineamento experimental foi de blocos casualizados, com cinco repetições, em esquema fatorial (4x4), sendo quatro doses de vinhaça (0; 450; 600 e 750 m³ ha⁻¹) e quatro profundidades (0,0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m), em parcelas de 24 m² (6m x 4m).

A área vem sendo cultivada há três anos com cana-de-açúcar, utilizando a variedade RB 855453 de ciclo precoce, com espaçamento entre linhas de 1,5 m. O plantio da cultura ocorreu no ano de 2008, utilizando preparo convencional do solo, que consistiu de uma subsolagem a 50 cm de profundidade, seguida de duas gradagens pesadas e uma gradagem niveladora. A adubação de plantio foi com 250 kg ha⁻¹ da fórmula 10-30-10.

As doses de vinhaça foram aplicadas no dia 10 de dezembro de 2010, quando as plantas apresentavam cinco a seis folhas totalmente expandidas. A análise química da vinhaça pelo método de espectrometria de plasma ICP (ICAP 6000 Thermo) apresentou as seguintes características: pH = 4,30; condutividade = 2,39 mS/cm; salinidade = 1,2 ppt; P = 67,36 mg dm⁻³; K = 387,67 mg dm⁻³; Mg = 84,01 mg dm⁻³; Ca = 122,7 mg dm⁻³; S = 95,1 mg dm⁻³; Zn = 1,5 mg dm⁻³; Si = 8,23 mg dm⁻³; B = 0,035 mg dm⁻³; Fe = 3,31 mg dm⁻³; Cu = 0,32 mg dm⁻³; Mn = 7,22 mg dm⁻³; Al = 0,097 mg dm⁻³; Co = 0,013

mg dm⁻³; Cr = 0,031 mg dm⁻³; Ba = 0,0136 mg dm⁻³; Cd = 0,0003 mg dm⁻³; Ni = 0,0274 mg dm⁻³; Sr = 0,867 mg dm⁻³ e V = 0,0008 mg dm⁻³.

As coletas das amostras com estrutura preservada de solo foram realizadas aos 38, 75 e 111 dias após a aplicação dos tratamentos. Essas amostras de solo com estrutura preservada foram retiradas na forma de blocos (20x20x20 cm), em trincheiras de (50x50x50 cm) e secos à sombra, destorroados manualmente de forma a separar os agregados segundo as superfícies de menor resistência e submetidos ao peneiramento via seca para a separação dos agregados, em tamanho entre 9,0 - 4,63 mm.

Foram utilizados para a sonificação 5 g de agregados. Os agregados foram colocados em béquer com capacidade de 400 mL, sendo adicionado 200 mL de água destilada, mantendo uma relação solo:água de 1:40. As sonificações foram realizadas utilizando um aparelho Misonix, modelo XL2020, operando no estágio nove do mostrador, durante 60 segundos conforme descrito em (SÁ et al., 2002). Ribeiro (2009) usando aparelho de mesma marca e modelo, e operando no estágio nove do mostrador obteve potência de 70 W.

A ponta da haste do aparelho, com 175 mm de comprimento e diâmetro de 19 mm, foi inserida na água a uma profundidade de 50 mm. Após cada sonificação, as amostras foram passadas em peneira de malha 0,053 mm, para quantificação da fração areia ou agregados do tamanho de areia, sendo que o restante contendo argila, silte e agregados do tamanho silte foram transferidos ao mesmo tempo para proveta com capacidade para 500 mL. Esse volume foi completado com água destilada e a suspensão agitada para homogeneização. Com base na lei de Stokes, depois de adequados tempos de sedimentação da fração silte, subamostras de 10 mL foram coletadas para quantificação da fração argila. A fração silte foi obtida por diferença da soma da areia com a argila. Este procedimento possibilitou o cálculo do índice de dispersão, obtido pela relação: silte + argila dispersa / amostra original (5g - umidade) conforme descrito em (SÁ et al., 2002).

A colheita da cana de açúcar foi realizada com um ciclo total de 10 meses. Foram coletados 10 colmos na área útil de cada parcela para determinação da produtividade em Mg ha⁻¹. Os resultados de índice de dispersão de agregados do solo e doses de vinhaça foram submetidos à análise de regressão, sendo a equação obtida avaliada pelo teste F. Também foram obtidas as correlações de Pearson entre o índice de dispersão e a concentração de potássio e teor de matéria orgânica.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

No estudo da física do solo vem se destacando o uso do índice de dispersão que é obtido através do ultrassom como parâmetro da qualidade física do solo, assim nesta pesquisa o índice de dispersão foi avaliado aos 38, 75 e 111 dias após aplicação de quatro doses de vinhaça, em quatro profundidades em solo cultivado com cana-de-açúcar. Houve redução do índice de dispersão (ID) de agregados com o aumento das doses de vinhaça em todas as camadas estudadas, independente do período em que foram avaliados (Figura 1). Menores valores do índice de dispersão de agregados indicam menor predisposição dos agregados à dispersão, ou seja, possuem maior estabilidade (SÁ et al., 2002).

Os valores do índice de dispersão aos trinta e oito dias após aplicação da vinhaça decresceram. Para a profundidade de 0,00 – 0,05 m, a queda foi de 21,5%, passando de 0,354 para 0,278. Com relação à profundidade de 0,05 – 0,10 m, a melhoria nos índices de dispersão foram mais discretos, onde a queda do índice foi de apenas 6,4% da maior para menor dose. Já na profundidade de 0,10 – 0,20 m o índice também decresceu com aumento das doses de vinhaça, com uma queda de 12,9%, passando de 0,294 para 0,256. A profundidade de 0,20 – 0,40 m foi a que apresentou os menores valores de índice de dispersão tanto na menor quanto na maior dose, onde ocorreu queda de 11,1% do maior para o menor valor do índice de dispersão, que foram de 0,234 e 0,208 respectivamente. Sá et al. (2002) relataram que o tipo de uso do solo influencia a dispersão, tornando-a característica de cada tipo de solo e para cada sistema de manejo a que este solo é submetido.

Com relação ao índice de dispersão aos setenta e cinco dias após aplicação da vinhaça comportamento similar foi observado. Quando se aplicou a vinhaça observou-se um efeito acentuado na redução do índice de dispersão na camada de 0,00 - 0,05 m quando comparado com as outras profundidades. Já com relação à profundidade de 0,05 – 0,10 m a queda nos valores do (ID) foi de apenas 5,1%. Observou-se também que nesta profundidade o valor máximo do índice de dispersão na menor dose era de 0,253 e se encontrava abaixo quando comparado na mesma dose e com as profundidades de 0,00 – 0,05 m e 0,10 – 0,20 m. Para a profundidade de 0,10 – 0,20 m ocorreu queda de 16,0% do maior para o menor valor do (ID), que foram respectivamente de 0,262 e 0,220. A profundidade de 0,20 – 0,40 m apresentou os menores valores de índice de dispersão passando de 0,247 para 0,22 com queda real de 10,9%.

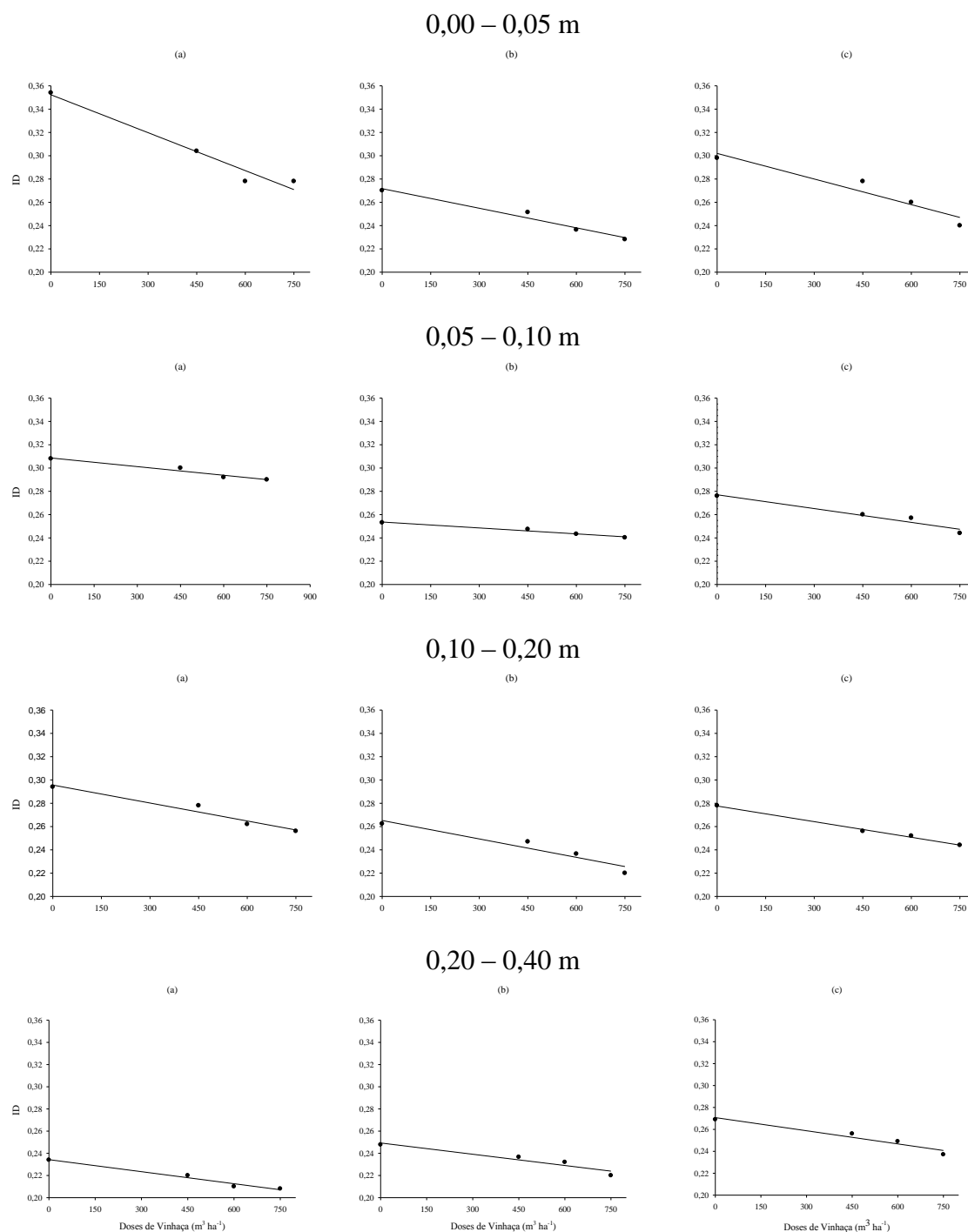


Figura 1. Índice de dispersão (ID) em quatro profundidades de um Latossolo Vermelho distroférico sob aplicação de quatro doses de vinhaça aos 38 (a), 75 (b) e 111 (c) dias após aplicação da vinhaça.

Já aos cento e onze dias após aplicação da vinhaça observou-se mesma tendência de queda nos (ID). Para profundidade de 0,00 – 0,05 m ocorreram às maiores quedas do (ID) quando comparadas com as outras camadas estudadas, passando de 0,298 para 0,240 da menor para maior dose respectivamente, com queda de 19,5%. Na profundidade de

0,05 – 0,10 m as quedas foram mais moderadas transpondo de 0,276 para 0,244 com queda de apenas 11,6%. Nota-se que o valor máximo do índice de dispersão na menor dose nesta profundidade, é o menor quando comparado com as profundidades de 0,0 – 0,05 e 0,10 – 0,20 m. Na profundidade de 0,10 – 0,20 m a queda do índice de dispersão foi de 12,2% passando de 0,278 para 0,244. Já a camada de 0,20 – 0,40 m apresentou o menor valor do índice de dispersão da menor para maior dose, com valores de 0,27 para 0,24, representando queda real de 11,1%.

O índice de dispersão, de forma análoga à estabilidade de agregados do solo está relacionado com fenômenos físicos, químicos e mineralógicos do solo. Com base nestas relações vale salientar que como os teores de matéria orgânica diminuíram com a profundidade dos solos, espera-se que nas camadas subsuperficiais a estabilidade dos agregados esteja mais relacionada com a mineralogia do solo, o que está de acordo com Lier (2010), que afirma que em virtude do baixo teor de matéria orgânica no horizonte B dos Latossolos em geral sua participação é bem discreta na estruturação destes solos. Com relação a este estudo e considerando que a estrutura é um atributo dinâmico do solo, sendo fortemente afetada por atividades biológicas e notadamente por práticas de manejo do solo, a aplicação de doses crescentes de vinhaça forneceu uma quantidade significativa de matéria orgânica para a subsuperfície dos solos, dentro dos limites de profundidade que foram considerados nesse estudo.

Ainda com relação à matéria orgânica, o incremento promovido pela maior dose de vinhaça, se mostrou eficaz no aumento da estabilidade dos agregados, o que está de acordo com Balesdent et al. (2000) que afirmaram que os sistemas de manejo com aplicação e conservação de resíduos orgânicos aumentam os estoques de matéria orgânica e a estabilidade de agregados. Conforme as equações de regressão a concentração de potássio no solo aumentou da menor para maior dose de vinhaça, o índice de dispersão de agregados correlacionou-se de modo significativo ($p < 0,01$) e negativo com a concentração de potássio nas três épocas de coleta após aplicação da vinhaça em todas as profundidades (Figuras 2 e 3).

Assim o fornecimento de nutrientes ao solo através da adição de resíduos como a vinhaça melhora sua fertilidade, bem como dependendo de sua dose e concentração catiônica atua benéficamente na melhoria dos atributos físicos do solo, através do aumento da energia de ligação do íon com a superfície da partícula, o que formar agregados maiores e mais estáveis em água. O que está de acordo com Meurer (2010) que descreve que ao ocorrer o aumento da concentração de cátions de qualquer valência

também se aumenta a estabilidade dos agregados e conseqüentemente diminui-se o índice de dispersão, o que ocorre pela diminuição da dupla camada difusa causada pelo aumento das forças de ligação entre as partículas.

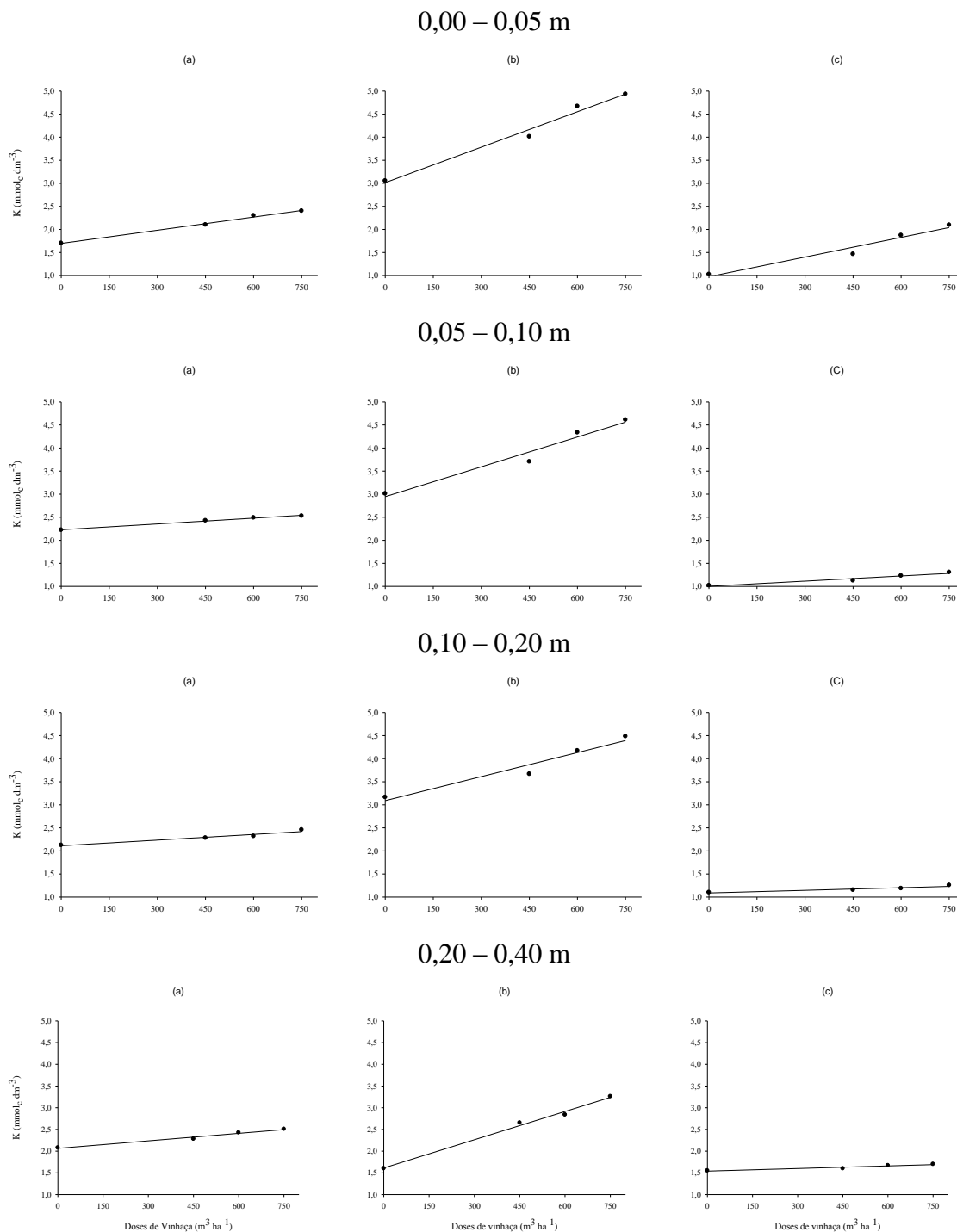


Figura 2. Teor de potássio em quatro profundidades de um Latossolo Vermelho distroférrico sob aplicação de quatro doses de vinhaça aos 38 (a), 75 (b) e 111 (c) dias após aplicação da vinhaça.

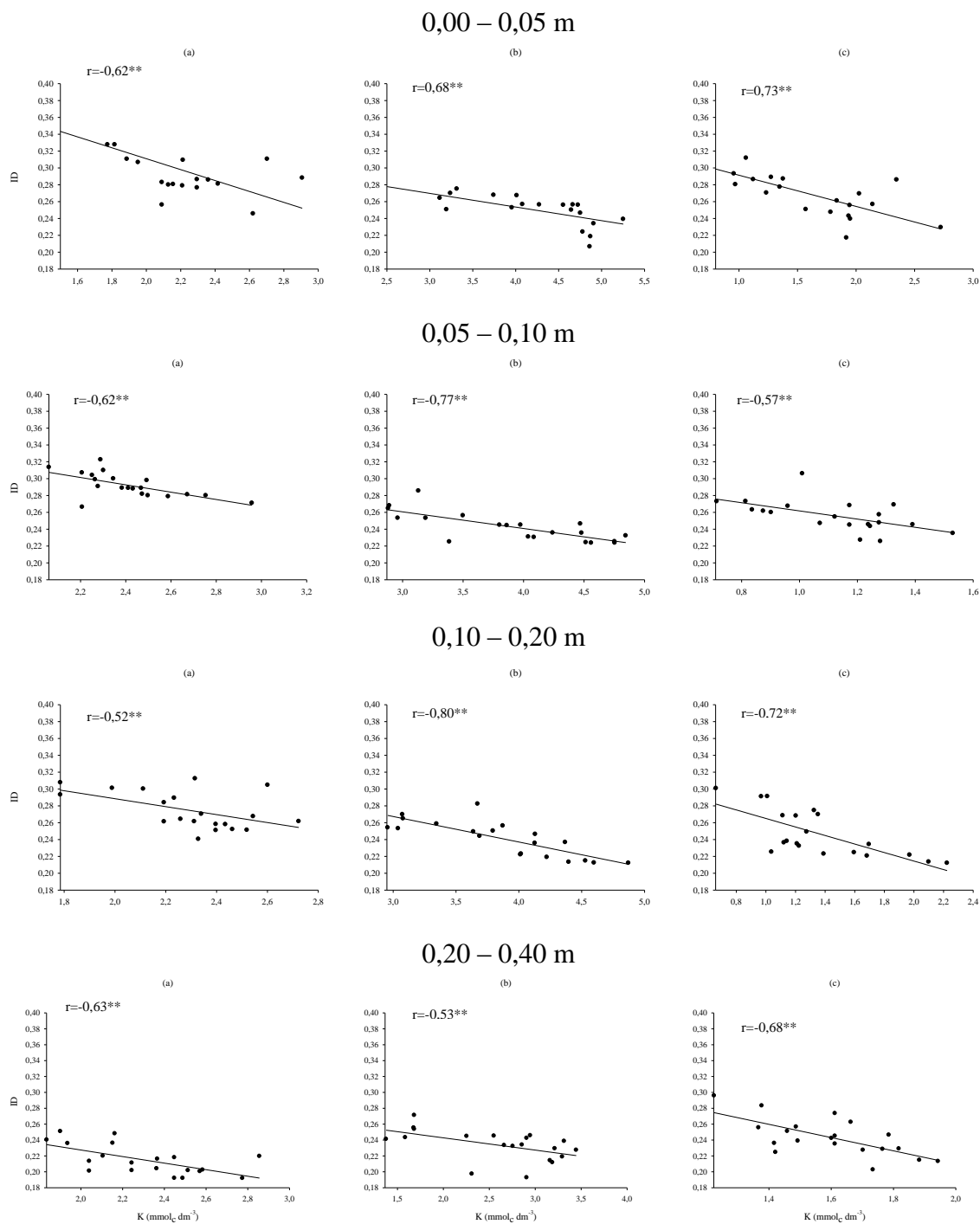


Figura 3. Correlação entre o índice de dispersão (ID) e teor de potássio em um Latossolo Vermelho distroférico de textura franco areno argilosa aos 38 (a), 75 (b) e 111 (c) dias após aplicação de quatro doses de vinhaça. ** significativo a 1% pelo teste F.

Com relação à matéria orgânica observou-se aumento do teor no solo da menor para maior dose de vinhaça, o índice de dispersão de agregados correlacionou-se de modo significativo ($p < 0,01$) e negativo com a concentração de matéria orgânica nas três épocas de coleta após aplicação da vinhaça em todas as profundidades (Figuras 4 e 5).

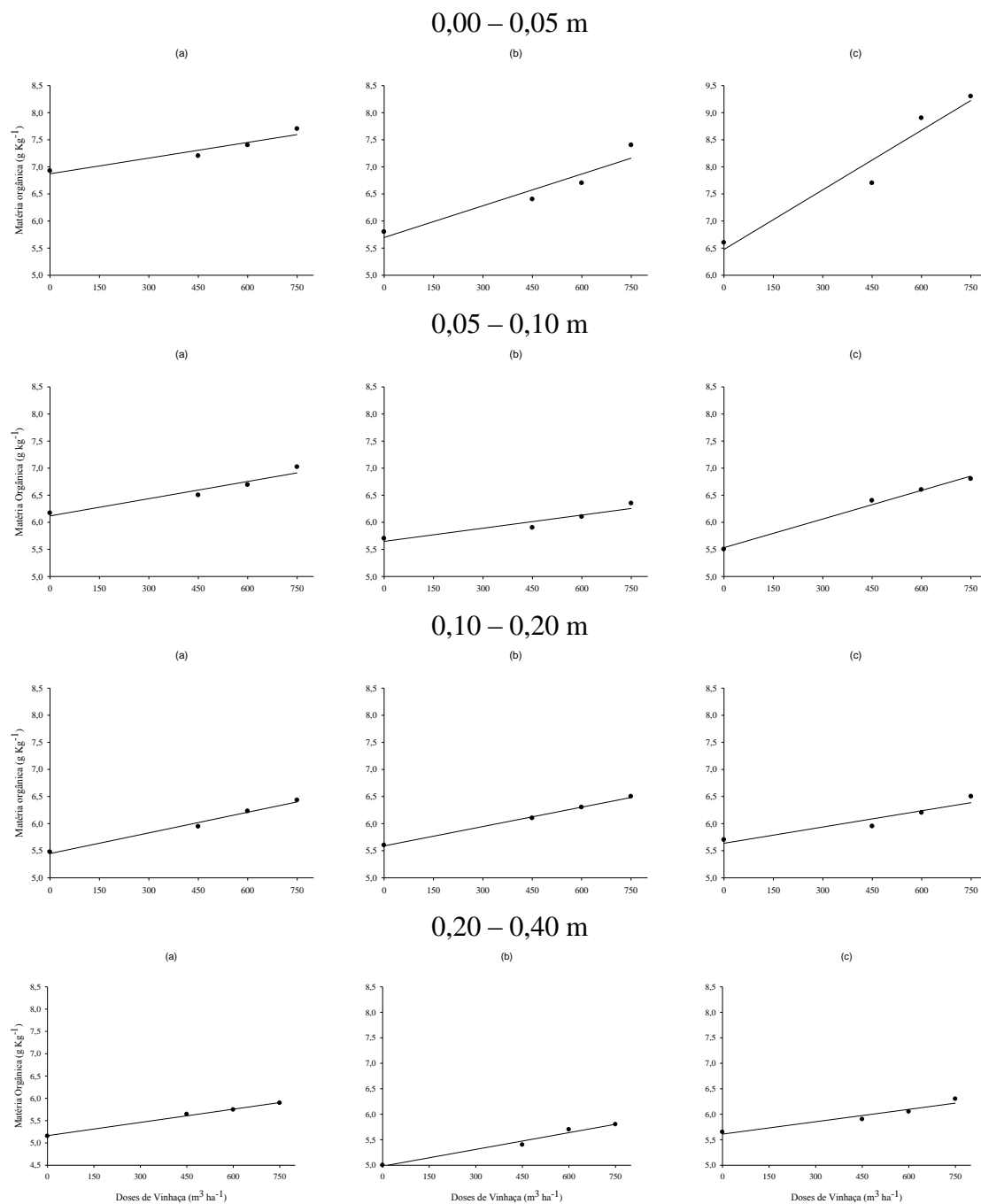


Figura 4. Teor de matéria orgânica em um Latossolo Vermelho distroférico de textura franco areno argilosa aos 38 (a), 75 (b) e 111 (c) dias após aplicação de quatro doses de vinhaça.

O aumento da concentração da matéria orgânica promovida pela adição das doses de vinhaça é benéfico tanto para a melhoria da fertilidade do solo através do aumento da capacidade de troca catiônica, bem como por possuir ação cimentante nos agregados, atuando na proteção dos mesmos. Esta proteção conferida pela matéria orgânica é responsável pelo aumento da estabilidade dos agregados em água.

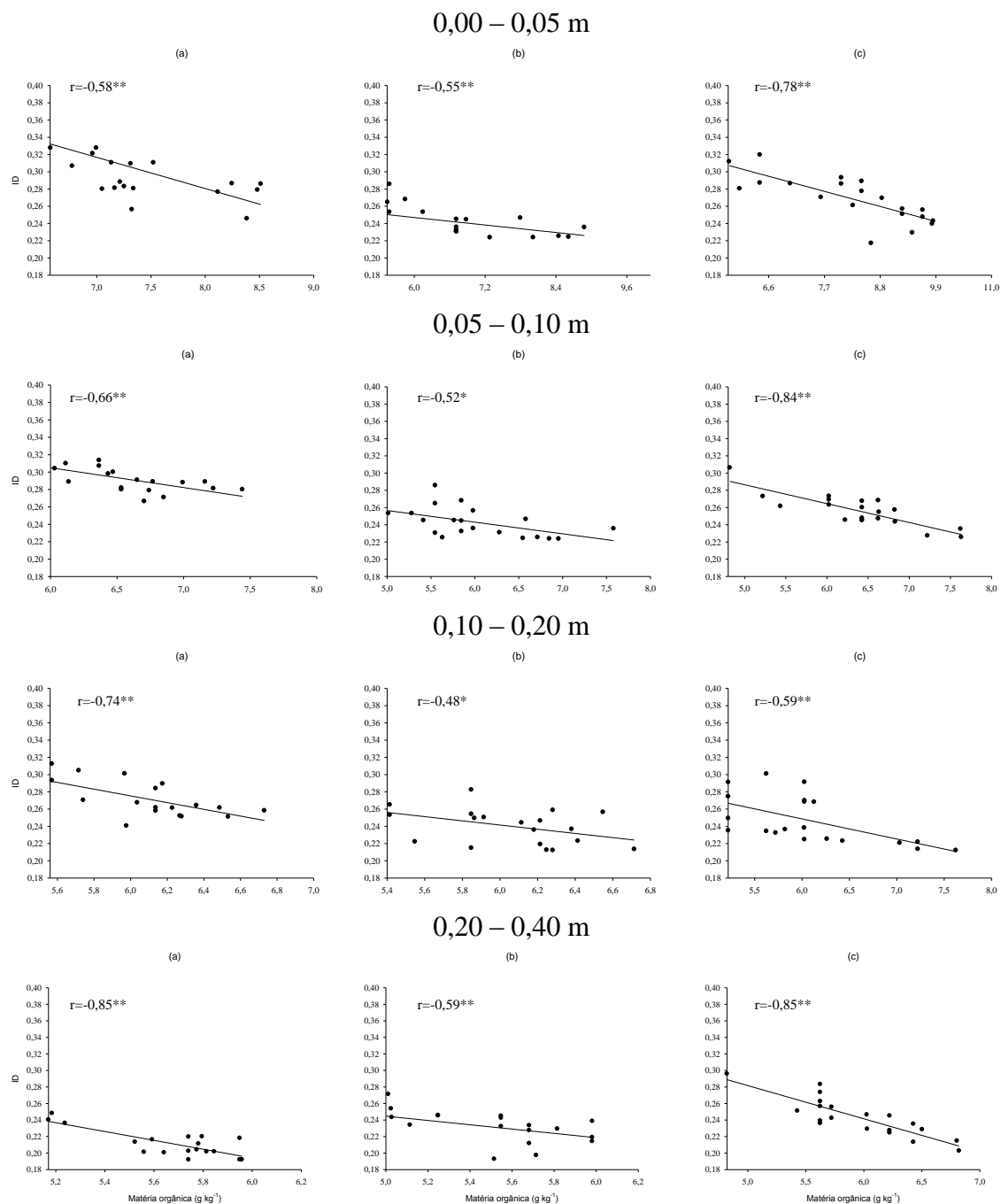


Figura 5. Correlação entre o índice de dispersão (ID) e teor de matéria orgânica em um Latossolo Vermelho distroférico de textura franco areno argilosa aos 38 (a), 75 (b) e 111 (c) dias após aplicação de quatro doses de vinhaça. **, * significativo a 1% e 5% respectivamente pelo teste F.

Quanto menor o índice de dispersão maior é a estabilidade dos agregados do solo, o que segundo Santos (2008), é um indicativo de aumento da qualidade física do solo. As análises de regressão foram feitas para cada época de amostragem do solo, onde as equações obtidas estão apresentadas nos (Quadros 1,2 e 3).

Quadro 1. Equações de regressão do índice de dispersão de agregados em função das doses de vinhaça em cada profundidade.

0,00 – 0,05 m			
Equações de regressão	R ²	F	Prob.
(a) $0,3524 - 1,0000 \cdot 10^{-4}D$	0,95	55,87	0,01
(b) $0,2717 - 5,6060 \cdot 10^{-5}D$	0,95	61,58	0,01
(c) $0,3020 - 7,3330 \cdot 10^{-5}D$	0,88	22,58	0,04
0,05 – 0,10 m			
(a) $0,3086 - 2,4762 \cdot 10^{-5}D$	0,93	39,19	0,02
(b) $0,2536 - 1,6950 \cdot 10^{-5}D$	0,95	65,26	0,01
(c) $0,2770 - 3,9524 \cdot 10^{-5}D$	0,92	36,89	0,02
0,10 – 0,20 m			
(a) $0,2956 - 5,1429 \cdot 10^{-5}D$	0,92	39,81	0,02
(b) $0,2652 - 5,2714 \cdot 10^{-5}D$	0,88	22,16	0,04
(c) $0,2776 - 4,4762 \cdot 10^{-5}D$	0,99	327,26	<0,01
0,20 – 0,40 m			
(a) $0,2344 - 2,0000 \cdot 10^{-4}D$	0,96	69,99	0,01
(b) $0,2493 - 3,3857 \cdot 10^{-5}D$	0,87	21,66	0,04
(c) $0,2707 - 4,0000 \cdot 10^{-5}D$	0,91	30,78	0,03

(a) 38, (b) 75 e (c) 111 dias após aplicação da vinhaça.

Quadro 2. Equações de regressão da concentração de potássio em função das doses de vinhaça em cada profundidade.

0,00 – 0,05 m			
Equações de regressão	R ²	F	Prob.
(a) $1,6964 + 0,0010 D$	0,99	320,00	<0,01
(b) $3,0144 + 0,0026 D$	0,97	105,89	<0,01
(c) $0,9748 + 0,0014 D$	0,93	42,72	0,02
0,05 – 0,10 m			
(a) $2,2278 + 0,0004 D$	0,98	248,79	<0,01
(b) $2,9457 + 0,0022 D$	0,94	48,32	0,02
(c) $1,0021 + 0,0004 D$	0,91	30,65	0,03
0,10 – 0,20 m			
(a) $2,1112 + 0,0004 D$	0,91	31,79	0,03
(b) $3,0907 + 0,0017 D$	0,92	33,39	0,02
(c) $1,0882 + 0,0002 D$	0,83	16,08	0,05
0,20 – 0,40 m			
(a) $2,0639 + 0,0006 D$	0,97	88,73	0,01
(b) $1,6124 + 0,0022 D$	0,99	277,08	<0,01
(c) $1,5400 + 0,0002 D$	0,87	21,00	0,04

(a) 38, (b) 75 e (c) 111 dias após aplicação da vinhaça.

Quadro 3. Equações de regressão da concentração de matéria orgânica em função das doses de vinhaça em cada profundidade.

0,00 – 0,05 m			
Equações de regressão	R ²	F	Prob.
(a) 6,8724 + 0,0010 D	0,87	21,25	0,04
(b) 5,6964 + 0,0020 D	0,85	18,94	0,05
(c) 6,4750 + 0,0037 D	0,91	33,54	0,02
0,05 – 0,10 m			
(a) 6,1186 + 0,0011 D	0,89	26,08	0,03
(b) 5,6482 + 0,0008 D	0,83	16,22	0,05
(c) 5,5321 + 0,0018 D	0,98	202,81	<0,01
0,10 – 0,20 m			
(a) 5,4481 + 0,0013 D	0,97	135,25	<0,01
(b) 5,5893 + 0,0012 D	0,99	833,33	<0,01
(c) 5,6375 + 0,0010 D	0,84	17,08	0,05
0,20 – 0,40 m			
(a) 5,1634 + 0,0010 D	0,99	401,28	<0,01
(b) 4,9821 + 0,0011 D	0,96	78,37	0,01
(c) 5,6107 + 0,0008 D	0,89	25,69	0,03

(a) 38, (b) 75 e (c) 111 dias após aplicação da vinhaça.

Com a maturação fisiológica da cultura procedeu-se à avaliação da produtividade, que se correlacionou de modo significativo ($P < 0,01$) e positivo com os teores de potássio e matéria orgânica, constatando-se aumento da produtividade (Figura 6).

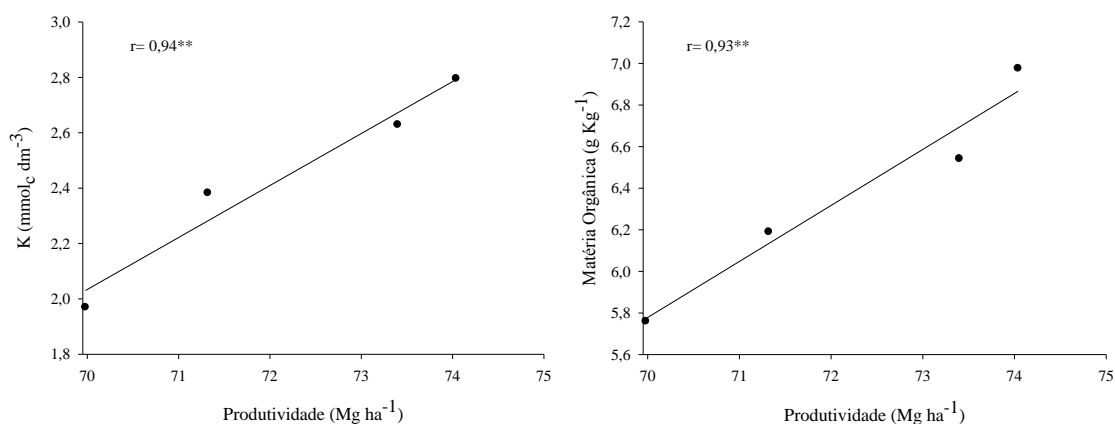


Figura 6. Correlação entre produtividade da cana-de-açúcar e teor de potássio e matéria orgânica de um Latossolo Vermelho distroférico. ** Significativo a 1% pelo teste F.

O aumento da produtividade foi de aproximadamente $3,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ com a aplicação da maior dose.

Os resultados da produtividade exprimem indiretamente os benefícios decorrentes das doses da vinhaça na qualidade física do solo, que ao fornecer potássio e matéria orgânica proporcionam uma melhor estruturação do solo, o que pode beneficiar o desenvolvimento radicular das plantas de cana-de-açúcar ao explorar um maior volume de solo, e conseqüentemente ter efeito no crescimento da parte aérea e no acúmulo de fotoassimilados pela planta, o que está de acordo com Malavolta et al. (2006). Esses autores ainda citam que o fornecimento de potássio favorece a síntese e acúmulo de sacarose.

Para Santos et al. (2008) esse incremento nos teores de matéria orgânica beneficiam a agregação do solo, melhorando os atributos físicos como a densidade do solo, porosidade, aeração, capacidade de retenção e infiltração de água, entre outros, que são fundamentais para a capacidade produtiva.

Camilotti (2006), ao avaliar treze experimentos em cana soca, verificou que a vinhaça proporcionou aumento de produção da cana soca, o que corrobora Barbosa et al. (2006) e Tasso Júnior et al. (2007) que encontraram maiores produtividades na cana soca com aplicação de até $270 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de vinhaça combinado com adubos minerais em um Latossolo Vermelho-Amarelo.

CONCLUSÕES

A aplicação de até $750 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de vinhaça reduz o índice de dispersão e aumenta a estabilidade dos agregados de um Latossolo Vermelho distroférico cultivado com cana-de-açúcar.

Os teores de matéria orgânica e de potássio no solo influenciam positivamente a estabilidade dos agregados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALESDENT, J.; CHENU, C.; BALABANE, M. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. **Soil tillage research**, v.53, p.215 – 230, 2000.

BARBOSA, V.; DURINGA, A. M. P. R.; GLÓRIA, N. A.; MUTTON, M. A. Uso de vinhaça concentrada na adubação de soqueira da cana-de-açúcar. **SATAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 34, n. 6, p. 26 – 31, 2006.

CAMILOTTI, F.; ANDRIOLI, I.; MARQUES, M. O.; SILVA, A. R. S.; JÚNIOR, L. C. T.; NOBILE, F. O. Atributos físicos de um latossolo cultivado com cana-de-açúcar após aplicações de lodo de esgoto e vinhaça. **Engenharia Agrícola Jaboticabal**, v.26, n.3, p.738-747, 2006.

CAMILOTTI, F.; **Efeitos no solo e em plantas de cana-de-açúcar cultivadas com lodo de esgoto e vinhaça**. 2006. 76 f. Tese (Doutorado em produção vegetal) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal – SP.

DE CESARE, F.; GARZILLO, A. M. V.; BUONOCORE, V.; BADALUCCO, L. Use of sonication for measuring zcid phosphatase activity in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 32, p. 825 – 832, 2000.

LIER, Q. J. V. **Física do solo**. 1ª Ed. Viçosa: Editora Sociedade Brasileira de Ciências do Solo., 2010. 298p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômicas Ceres, 2006. 638 p.

MEURER, E. J. **Fundamentos de Química do Solo**. 4ª . Ed. Porto Alegre: Editora Evangraf Ltda., 2010. 266 p.

NEVES, R. M.; HAYNES, R. J.; Comparative effects of annual and permanent dairy pastures on soil physical properties in the Tsitsikamma region of south África. **Soil use and management**, v.20, p.81 – 88, 2004.

PASSARIN, A. L.; RODRIGUEIRO, E. L.; ROBAINA, C. R. P.; MEDINA, C. C. Caracterização de agregados em um Latossolo vermelho distroférico típico submetido a diferentes doses de vinhaça. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1255 – 1260, 2007.

RAINE, S. R.; SO, B. Ultrasonic dispersion of soil in water: the effect of suspension properties on energy dissipation and soil dispersion. **Australian journal of soil research**, London, v. 32, n. 6, p. 1157 – 1174, 1994.

RIBEIRO, B. T.; Aplicação de vinhaça em solos: **Efeito no balanço de cargas e dispersão de partículas**. 2006. 86 f. Tese (Doutorado em Ciências do solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG.

SÁ, M. A. C.; LIMA, J. M.; MELLO, C. R. Nível de energia ultra-sônica para estudo da estabilidade de agregados de um Latossolo sob diferentes usos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 11, p. 1649 – 1655, Nov. 2002.

SANTOS, G. A.; **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais & subtropicais**. Metrópole, Porto Alegre, 2. Ed, p. 654, 2008.

SILVA, C. S. EMBRAPA. **Manual da análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. Ed. Brasília: Editora Embrapa Informação e Tecnologia., 2009. 627p.

SILVA, A. J. N.; CABEDA, S. V.; CARVALHO, F. G.; LIMA, J. F. W. F. Alterações físicas de um argissolo amarelo sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.1, p.76-83, 2006.

TASSO JÚNIOR, L. C. T.; MARQUES, M. O.; FRANCO, A.; NOGUEIRA, G. A.; NOBILE, F.; CAMILOTTI, F.; SILVA, A. R. Produtividade e qualidade de cana-de-açúcar cultivada em solo tratado com lodo de esgoto, vinhaça e adubos minerais. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n.1, p. 276 – 283, Jan/abr. 2007.

VITORINO, A. C. T.; FERREIRA, M. M.; OLIVEIRA, G. C.; JÚNIOR, M. S. D.; SÁ, M. A. C.; LIMA, J. M.; CURI, N. Níveis de energia ultra-sônica na dispersão de argila em solos da região de lavras (MG). **Ciência e Agrotecnologia**., Lavras, v.25, n.6, p.1330 – 1336, Nov/dez., 2001.

VITORINO, A. C. T.; FERREIRA, M. M.; CURI, N.; LIMA, J. M.; SILVA, M. L. N.; MOTTA, P. E. F. Mineralogia, química e estabilidade de agregados do tamanho silte de solos da Região Sudeste do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n.1, p. 133 – 141, 2003.

CONCLUSÕES GERAIS

1. A aplicação de doses de vinhaça diminui o índice de dispersão e a densidade do solo, aumenta a estabilidade dos agregados, macroporosidade, porosidade total, diâmetro médio geométrico e diâmetro médio ponderado de solo cultivado com cana-de-açúcar.

2. O índice de dispersão dos agregados correlacionou-se de modo significativo e negativo com a concentração de matéria orgânica e de potássio, influenciando positivamente a estabilidade dos agregados.

3. A aplicação de doses de vinhaça aumenta linearmente a produtividade da cana-de-açúcar.

4. A produtividade da cana-de-açúcar correlaciona-se de modo significativo e positivo com os teores de potássio e matéria orgânica.