



Agregação do solo, carbono orgânico e emissão de CO₂ em áreas sob diferentes usos no Cerrado, região do Triângulo Mineiro

doi: 10.4136/ambi-agua.1573

Received: 30 Nov. 2014; Accepted: 11 Jun. 2015

Camila Silva Borges; Bruno Teixeira Ribeiro* ; Beno Wendling; Danilo Alves Cabral

Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia, MG, Brasil

*Autor correspondente: e-mail: btribeiro@iciag.ufu.br,
camilasborges@yahoo.com.br, beno@iciag.ufu.br, daniloac@msn.com

RESUMO

Agregação e o conteúdo de carbono orgânico são importantes indicadores de qualidade do solo e estão intimamente relacionados com o fluxo de CO₂ na interface solo-atmosfera. Objetivou-se com este trabalho avaliar: i) a agregação do solo; ii) a distribuição do carbono orgânico total e substâncias húmicas em diferentes classes de tamanho de agregados; e iii) a emissão de CO₂ em áreas sob diferentes usos na região do Triângulo Mineiro. Foram selecionadas quatro áreas na região de Uberlândia, MG: (1) área de capim Mombaça; (2) área de capim Tanzânia; (3) área de cana-de-açúcar; e (4) área de mata nativa (controle). Em cada área foram coletadas amostras de solo da camada 0-10 cm, as quais foram secas ao ar e peneiradas para obtenção de agregados de tamanho 4-2 mm. As amostras foram submetidas ao peneiramento úmido para avaliação da estabilidade e para obtenção de agregados de diferentes classes de tamanho: 4-2 mm; 1-2 mm; 1-0,5 mm; e 0,5-0,25 mm. Nesses materiais determinou-se o carbono orgânico total, substâncias húmicas (ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e humina) e textura. A emissão de CO₂ foi avaliada em condições de campo e laboratório, ambas pelo método da captura em solução NaOH. As áreas de mata e capim Tanzânia (mais argilosa) apresentaram maior agregação do solo. O manejo do solo adotado na área de cana contribuiu significativamente para destruição dos agregados do solo. Para uma mesma condição, agregados de maior tamanho apresentaram maior conteúdo de carbono orgânico e de substâncias húmicas. O conteúdo de carbono orgânico e textura do solo parecem ter sido determinantes na emissão de CO₂ das áreas estudadas.

Palavras-chave: bioma Cerrado, estrutura do solo, qualidade ambiental.

Soil aggregation, organic carbon and CO₂ emission in different land uses in Brazilian Savanna, Triangulo Mineiro region

ABSTRACT

Soil aggregation and carbon distribution are important indicators of soil quality. Moreover, these attributes are closely related to CO₂ fluxes in the soil-atmosphere interface. We sought to evaluate soil aggregation, organic carbon distribution and CO₂ evolution in different land uses of Minas Gerais Triangle. Four different land uses were selected: (1) *Panicum maximum*, (2) *Panicum maximum* Jacqvr. (Tanzânia), (3) sugarcane, and (4) native Cerrado (control). In each land-use type, soil samples from a 0-10 cm layer were

collected. The samples were air-dried and sieved in order to obtain aggregates sized 4-2 mm. The samples were submitted to wet-sieving to evaluate stability and also to obtain aggregates of different sizes: 4-2 mm; 2-1 mm; 1-0.5 mm; and 0.5-0.25 mm. Total organic carbon, humic substances and texture were determined for each aggregate size fraction. The CO₂ emission was measured in field and lab conditions, both by the capture in NaOH solution method. The native Cerrado and *Panicum maximum* Jacqvr. (Tanzânia) areas (mostly clay) showed the highest soil aggregation. The conventional soil tillage adopted in sugarcane areas contributed significantly to aggregate disruption. In all of the areas, the largest aggregates had higher organic carbon and humic substances. Organic carbon content and soil texture seem to be closely associated with CO₂ emissions in the areas studied.

Keywords: Cerrado biome, environmental quality, soil structure.

1. INTRODUÇÃO

A região do Triângulo Mineiro está inserida no Cerrado – área considerada marginal para agricultura no passado. Nos últimos 30 anos, uma grande transformação ocorreu nesse bioma, tendo, nos dias atuais, concentrada boa parte da produção agropecuária do Brasil (Diniz-Filho et al., 2009). A área de cerrado no Brasil contribui em cinco bacias hidrográficas: Atlântico Norte/Nordeste, Amazonas, Paraná/Paraguai, Araguaia/Tocantins e São Francisco. Na bacia São Francisco mais de 90% da água que flui superficialmente é influenciada pelo Cerrado. Neste contexto, ressalta-se que a perenidade e qualidade dos recursos hídricos estão diretamente e fortemente relacionadas com a conservação do solo.

A transformação de ambientes naturais em ambientes de produção, dependendo do manejo adotado, pode comprometer significativamente a qualidade e as funções do solo. Alguns atributos do solo têm sido utilizados como indicadores de sua qualidade (Doran e Parkin, 1994). Entre eles, o conteúdo de carbono orgânico e o estado de agregação têm sido considerados bons indicadores por estarem relacionados com importantes processos, como: resistência à erosão, capacidade de infiltração e de retenção de água. Esse último é de extrema importância, pois a água armazenada no solo é que irá garantir a perenidade de cursos d'água, principalmente em períodos de seca.

A matéria orgânica e a estabilidade de agregados do solo possuem uma estreita correlação. Compostos orgânicos são considerados os principais agentes de cimentação das partículas do solo (Tisdall e Oades, 1982; Six et al., 2004) e, ao mesmo tempo, o próprio estado de maior agregação promove maior proteção física da matéria orgânica do solo permitindo o seu acúmulo (Feller e Beare, 1997). Boas práticas de conservação e de manejo do solo, entre outros aspectos, têm objetivado a entrada de carbono no sistema-solo (sequestro de C) em detrimento às perdas de carbono, como exemplo, na forma de CO₂ para a atmosfera devido ao desmatamento, queimadas, operações de aração e gradagem levando a uma maior oxidação da matéria orgânica etc.

Recentemente, tem sido referenciada no mundo a questão do aquecimento global e da participação das atividades agropecuárias na emissão de gases de efeito estufa (CO₂, CH₄, N₂O), principalmente quando da transformação de ambientes naturais em ambientes de produção (Cerri et al., 2009). Em condições naturais de vegetação, os solos apresentam estoque de carbono orgânico estável, resultado da igualdade entre a taxa de entrada do CO₂ atmosférico ao solo via plantas e a taxa de saída de CO₂ do solo pela decomposição microbiana. Quando o solo é cultivado e manejado ocorrem alterações no efluxo e influxo de CO₂ na interface solo-atmosfera (Costa et al., 2006). Nesse contexto, ressalta-se que o Brasil é um dos maiores emissores de gases de efeito estufa na atmosfera devido ao desmatamento e queimadas na Amazônia para conversão em áreas para a agricultura (Cerri et al., 2009).

Nesse sentido, objetivou-se com este trabalho avaliar o estado de agregação, o conteúdo de carbono orgânico e substâncias húmicas em diferentes classes de tamanho de agregados e a emissão de CO₂ em áreas sob diferentes usos na região do Triângulo Mineiro, MG.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização e caracterização da área experimental

Foi selecionada para este estudo uma área de Latossolo Vermelho Distrófico sob diferentes usos (pastagens, cana-de-açúcar e mata nativa) na região do Triângulo Mineiro, Uberlândia, MG, bioma Cerrado, situada entre as coordenadas 18° 52'11" e 18° 51'58" S e 48° 33'08" e 48° 33'06" W, a uma altitude média de 830 m. O clima da região é classificado como Cwa (classificação de Köppen) – temperado chuvoso (mesotérmico), com inverno seco e verão chuvoso, temperatura média anual de 20,5°C e precipitação média anual entre 1.500 e 1.600 mm. Uma descrição de cada área selecionada é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Descrição e histórico de cada área selecionada para o trabalho.

Área	Descrição
Capim Mombaça (7 ha)	Área de <i>Panicum maximum</i> , que recebeu nos dois últimos anos aproximadamente 800 m ³ ha ⁻¹ de dejetos de suínos aplicados a lanço de forma parcelada.
Capim Tanzânia(8,5 ha)	Área de <i>Panicum maximum</i> Jacqvr. (Tanzânia), recebendo nos dois últimos anos aproximadamente 800 m ³ ha ⁻¹ de dejetos de suínos aplicados a lanço de forma parcelada.
Cana-de-açúcar(23 ha)	Área de produção no segundo ano de soqueira, sendo o solo preparado com subsolagem, grade aradora e niveladora na implantação da cultura. Nos últimos dois anos (cana-soca) recebeu 8 Mg ha ⁻¹ de cama de frango, aplicados a lanço de forma parcelada.
Mata nativa (12 ha)	Área preservada de vegetação natural, localizada adjacente ao experimento utilizada como tratamento controle.

Fonte: Resende et al. (2012).

2.2. Coleta e preparo das amostras de solo

Em cada área selecionada, em maio de 2012, foram coletadas, em quatro repetições, amostras da camada 0-10 cm, sendo essas secas ao ar e cuidadosamente destorroadas, segundo os pontos de fraqueza das amostras, para a obtenção de agregados de tamanho 4-2 mm e material de solo de tamanho menor que 2 mm. Essas amostras destinaram-se aos ensaios de peneiramento úmido, análise da emissão de CO₂ em laboratório, obtenção de outras classes de tamanho de agregados e determinação do carbono orgânico total, substâncias húmicas e textura.

2.3. Avaliação da agregação do solo

Foi realizado o método do peneiramento úmido, proposto por Yoder (1936). Para isso, o equivalente a 25 g de agregados de tamanho 4-2 mm secos em estufa foram agitados verticalmente por 15 min em jogos de peneiras sobrepostas de 2,0; 1,0; 0,5 e 0,25 mm, dentro de um recipiente contendo água (aparelho de Yoder). Após a agitação, o material de solo presente em cada peneira foi recolhido, seco em estufa à 105°C por 24 horas e obtida a sua massa. A estabilidade dos agregados do solo foi avaliada pela percentagem de material presente em cada classe de tamanho possível com o ensaio: 4-2 mm; 2-1 mm; 1-0,5 mm;

0,5-0,25 mm; e <0,25 mm. Determinou-se também o diâmetro médio geométrico (DMG), calculado pela Equação 1.

$$DMG = 10^{\left[\frac{\sum(n \cdot \log d)}{\sum n} \right]} \quad (1)$$

em que:

n é a porcentagem de agregados retidos em uma determinada peneira e

d é o diâmetro médio de uma determinada faixa de tamanho de agregado (mm).

2.4. Determinação do carbono orgânico total, substâncias húmicas e textura em agregados de diferentes tamanhos

Para obtenção de diferentes classes de tamanho de agregados realizou-se o mesmo peneiramento úmido como descrito acima. Nesse caso, após o período de agitação os agregados foram recolhidos e secos ao ar. O procedimento foi realizado quantas vezes necessárias para obtenção de material suficiente para determinação do carbono orgânico total, substâncias húmicas e textura. Foram obtidas as seguintes classes de tamanho: 4-2 mm; 2-1 mm; 1-0,5 mm e 0,5-0,25 mm.

Para determinação do carbono orgânico total, cada classe de agregado foi triturada em almofariz de porcelana para obtenção de material menor que 0,5 mm. Procedeu-se a trituração de todo o material necessário para a análise, evitando um possível efeito de segregação do material. A determinação do carbono orgânico total foi realizada pelo método da digestão com dicromato de potássio em meio ácido e titulação com sulfato ferroso amoniacal fazendo-se uso de indicador ferroin (Yeomans e Bremner, 1988).

As substâncias húmicas (AF: ácido fúlvico; AH: ácido húmico; HU: humina) foram determinadas segundo Embrapa (2003) com modificações, utilizando-se 0,5 g de material moído em grau de porcelana de cada classe de tamanho de agregados obtida. Desse modo, quantificou-se as frações: AF (solúveis em ácido e em álcali); AH (solúveis em álcali e insolúveis em ácido) e HU (insolúvel em ácido e em álcali). O carbono orgânico das frações AF e AH foi quantificado utilizando-se uma alíquota de 5 mL do extrato, 1 mL de dicromato de potássio 0,042 mol L⁻¹ e 5 mL de H₂SO₄ concentrado e titulação com sulfato ferroso amoniacal 0,0125 mol L⁻¹. Para quantificação da fração humina utilizou-se 5 mL de dicromato de potássio 0,1667 mol L⁻¹ e 10 mL de H₂SO₄ concentrado em bloco digestor a 150°C por 30 min, seguida de titulação com sulfato ferroso amoniacal 0,25 mol L⁻¹ com indicador ferroin (Embrapa, 2003).

Para determinação da textura de cada classe de tamanho de agregado, 10 g de material de solo foram acondicionados em garrafas tipo “pet” com capacidade para 500 mL contendo 150 mL de água destilada + 10 mL de NaOH 1M e agitados por 16 horas em agitador tipo Wagner para dispersão das amostras. Após esse período, a fração areia foi removida por peneiramento (peneira de 0,053 mm) e quantificada por pesagem após ser seca em estufa a 105°C por 24 horas. A suspensão silte + argila, simultaneamente à separação da fração areia, foi transferida para proveta com capacidade para 500 mL, completando-se esse volume com água destilada. A fração argila foi determinada pelo método da pipeta (Embrapa, 1997) em função do tempo de sedimentação da fração silte, baseado na Lei de Stokes. A fração silte foi determinada por diferença.

2.5. Avaliação da emissão de C-CO₂

A avaliação da emissão de CO₂ foi realizada em condições de campo e de laboratório. Em campo, realizou-se essa avaliação em dois momentos, em outubro de 2011 (início da estação chuvosa) e maio de 2012 (início da estação seca). Em cada área selecionada foi

realizada a avaliação da emissão de C-CO₂ pelo método da captura em solução NaOH conforme Mendonça e Matos (2005), com modificações. Para isso, em cada área, em quatro repetições, foram colocados de forma aleatória potes plásticos contendo 10 mL de solução NaOH 1M, sendo esses cobertos por uma campânula de PVC de 15 cm diâmetro e 20 cm de altura, permanecendo por um período de quatro horas para captura do CO₂ liberado. Após esse período, os potes foram hermeticamente fechados e levados ao laboratório. Aos 10 mL de solução NaOH 1M foram acrescentados 5 mL de solução de cloreto de bário 1M, titulando-se com HCl 0,5 M com o uso de indicador fenolfataleína. A quantidade de CO₂ liberada e presente na amostra (mg) foi estimada baseada no volume de HCl gasto na titulação (Mendonça e Matos, 2005). Com base no diâmetro da campânula utilizada e no tempo de exposição (quatro horas), os resultados foram expressos em $\mu\text{g CO}_2 \text{ min}^{-1} \text{ cm}^{-2}$. Em cada ponto analisado foram retiradas amostras para determinação da umidade atual do solo (Embrapa, 1997) e registrada a temperatura do solo na camada 0-10 cm fazendo-se uso de termômetro digital de haste.

No laboratório, em potes de vidro com capacidade para 500 mL (8,6 cm de diâmetro interno) foram acondicionados 50 g de solo (material < 2 mm) com umidade gravimétrica ajustada para: 0,10; 0,15; 0,20; 0,25 e 0,30 g g⁻¹. Em seguida, foram adicionados sobre a superfície das amostras de solo potes plásticos com capacidade para 50 mL contendo 5 mL de solução NaOH 1M. As amostras foram hermeticamente fechadas permanecendo assim por um período de sete dias. Após esse período, os potes plásticos contendo a solução NaOH foram retirados, realizando-se o procedimento de titulação e determinação da quantidade de C-CO₂ capturada descrito acima.

2.6. Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância e teste de médias (Scott-Knott; $p < 0,05$) utilizando o software Sisvar (Ferreira, 2011), considerando-se em todas as análises um delineamento inteiramente casualizado. Para as variáveis distribuição de agregados, teor de carbono orgânico, substâncias húmicas e textura foram considerados um esquema fatorial 4x5, referente a quatro áreas e cinco classes de tamanho de agregados obtidas, com quatro repetições. A análise da emissão de CO₂ em laboratório também foi analisada segundo um esquema fatorial 4x5, referente a quatro áreas e cinco condições de umidade estabelecidas. Para análise da emissão de CO₂ no campo e os valores de umidade do solo no momento, considerou-se um fatorial 4x2, referente a quatro áreas e duas épocas de amostragem. Todos os gráficos foram elaborados fazendo-se uso do software Sigma Plot 11.0.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Agregação do solo

As áreas estudadas apresentaram diferenças quanto ao estado de agregação (Figura 1), tendo as áreas de capim Tanzânia e mata nativa maiores valores do diâmetro médio geométrico dos agregados (DMG), comparativamente às áreas de capim Mombaça e cana-de-açúcar, as quais não diferiram entre si (Figura 1A).

Observa-se ainda que as áreas que apresentaram maior DMG (Tanzânia e mata nativa) foram as que apresentaram maiores quantidades de agregados de maior tamanho (4-2 mm) (Figura 1B). O contrário foi observado para a área de cana-de-açúcar, onde houve uma drástica redução na quantidade de agregados maiores (4-2 mm) e um aumento na quantidade de agregados menores (Figura 1B). Isso pode estar relacionado com o sistema de preparo convencional que vem sendo empregado nesta área (Tabela 1), como a prática da subsolagem, aração e gradagem. Tais práticas podem contribuir significativamente para destruição dos agregados do solo (Silva e Mielniczuk, 1997). Tais resultados apontam para os riscos de

alteração do estado de agregação do solo quando da transformação de ambientes naturais em ambientes de produção, dependendo do manejo adotado (Longo et al., 1999). Solos com agregados maiores e estáveis são mais resistentes ao impacto das gotas de chuva e, conseqüentemente, ao processo erosivo (Albuquerque et al., 2000). Além disso, um solo bem agregado propicia melhores condições para infiltração de água, trocas gasosas, crescimento de raízes, atividade microbiológica, capacidade suporte de carga e, também, confere proteção física da matéria orgânica do solo (Feller e Beare, 1997).

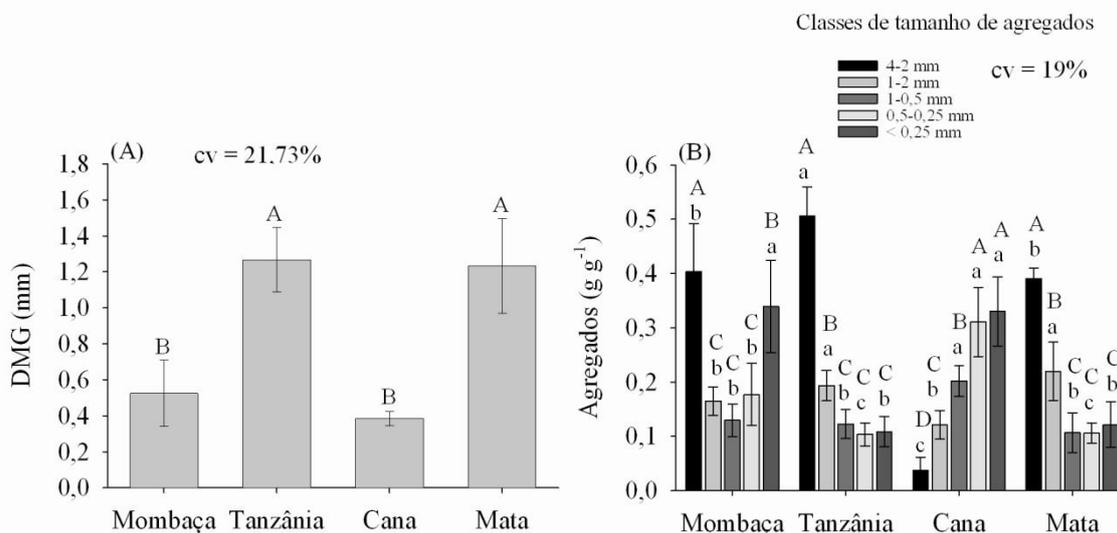


Figura 1. Diâmetro médio geométrico (DMG) (A) e distribuição de agregados em cada classe de tamanho (B) nas áreas de capim Mombaça, capim Tanzânia, cana-de-açúcar e mata nativa. Barras de erro indicam o desvio padrão da média (n=4). Para o DMG letras comparam áreas (Scott-Knott; $p < 0,05$). Para distribuição de agregados letras maiúsculas comparam tamanho de agregados em uma mesma área e, letras minúsculas, comparam áreas em uma mesma classe de tamanho de agregados (Scott-Knott; $p < 0,05$).

Entre as áreas estudadas, a área de mata nativa e capim Tanzânia foram as que apresentaram melhor agregação do solo (Figura 1). No que diz respeito à área de mata nativa, a sua própria condição natural pode constituir-se como um fator determinante para maior agregação do solo, como ausência de preparo, maior aporte de material orgânico ao longo dos anos, maior atividade microbiológica, entre outros. Vários trabalhos têm encontrado maior agregação em áreas naturais (e.g., mata) comparativamente a outros transformados em ambientes de produção.

Apesar de as áreas de capim Tanzânia e Mombaça apresentarem o mesmo histórico de uso (Tabela 1), a área de capim Tanzânia apresentou agregação superior à Mombaça, e semelhante à área de mata nativa. Tais resultados podem estar relacionados com o complexo e dinâmico processo de formação e estabilização dos agregados do solo. O carbono orgânico é considerado o principal agente de agregação do solo (Tisdall e Oades, 1982). Nesse contexto, foi observada que em todas as classes de tamanho de agregados, a área de capim Tanzânia apresentou maior teor de carbono orgânico total, comparativamente à área de capim Mombaça (Figura 2).

Outra consideração pertinente diz respeito à textura de cada classe de tamanho de agregados das áreas estudadas. A área de capim Tanzânia em todas as classes de agregados apresentou maiores teores de argila e menores de areia (Figura 3). A fração argila contribui grandemente para a formação e estabilização dos agregados do solo (Box-Fayos et al., 2001; Dufranc et al., 2004). Isso está relacionado com a maior área superficial específica e

reatividade dessa fração o que proporcionou maior interação dos minerais com compostos orgânicos (Dick et al., 2009), no caso, aqueles presentes no dejetos de suíno aplicados nas áreas de capim Tanzânia e Mombaça (Tabela 1). Outro aspecto que pode ter influenciado a diferença na agregação entre as áreas de capim Mombaça e Tanzânia seria o próprio efeito do sistema radicular das pastagens, porém isso não foi objetivo do presente estudo.

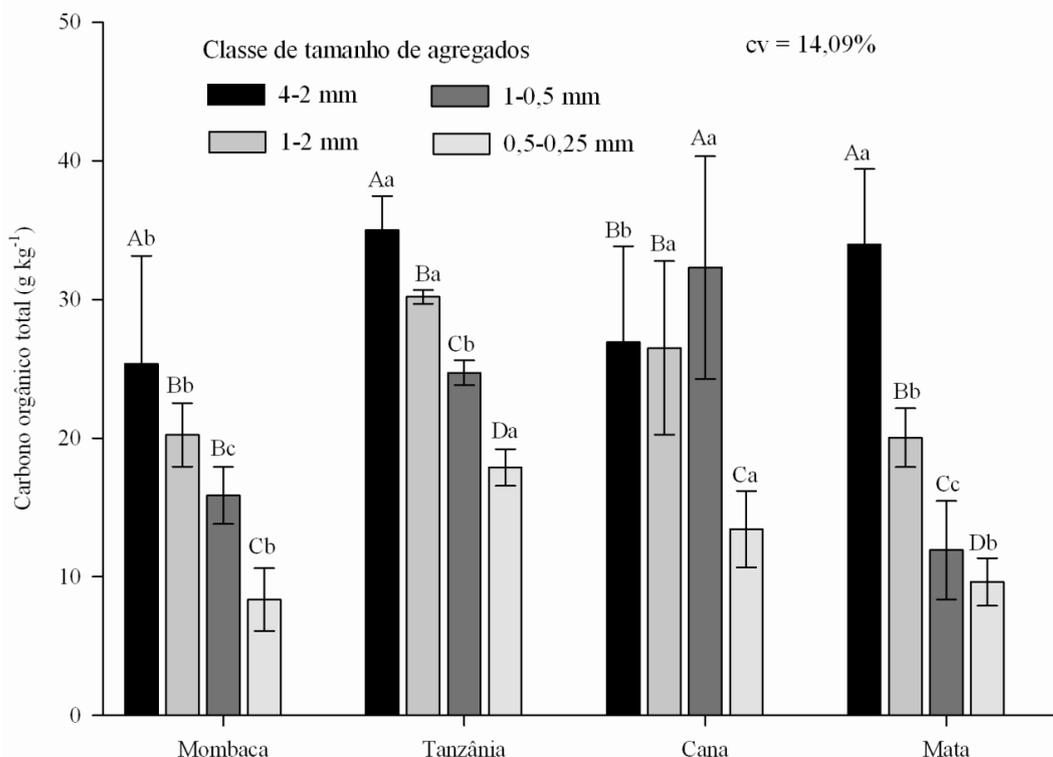


Figura 2. Carbono orgânico total nas diferentes classes de tamanho de agregados das áreas de capim Mombaça, capim Tanzânia, cana-de-açúcar e mata nativa. Barras de erro indicam o desvio-padrão da média (n=4). Letras maiúsculas comparam tamanho de agregados em uma mesma área e, letras minúsculas, comparam áreas em uma mesma classe de tamanho de agregados (Scott-Knott; p<0,05).

Considerando a importância da fração argila na formação e estabilização dos agregados do solo, outra observação importante é o fato de que mesmo a área de mata nativa ter apresentado maior agregação, esta é a que apresenta menores teores de argila e maiores de areia, juntamente com as áreas de capim Mombaça e cana-de-açúcar. Nesse sentido, uma possível destruição da área de mata e sua conversão em áreas produtivas (pastagens e culturas) poderia comprometer significativamente o estado de agregação do solo, como de fato foi observado para a área de cana-de-açúcar e capim Mombaça.

Em todas as áreas estudadas agregados maiores apresentaram maior conteúdo de carbono orgânico total (Figura 2). Esses resultados podem estar relacionados com a textura de cada classe de agregados, considerando que a maior parte do carbono orgânico total do solo está associada à fração argila (Roscoe e Machado, 2002). Independente da área foi observada uma redução no teor de argila e um aumento do teor de areia com a redução do tamanho dos agregados (Figura 3). Assis et al. (2006) também observaram maior teor de carbono orgânico em agregados maiores de um Latossolo Vermelho sob diferentes usos. Outra observação importante é a ocorrência de hierarquia na agregação (Perfect e Kay, 1991), ou seja, agregados menores com diferentes atributos químicos, físicos e mineralógicos (Lima et al., 1997) unindo-se e formando agregados maiores. Caso essa hierarquia na agregação não ocorra, diferenças no teor de carbono orgânico entre as classes de tamanho de agregados

poderiam não ser observadas. Neste trabalho, diferenças quanto à distribuição do carbono orgânico total entre as classes de agregados nas áreas estudadas foram observadas. Como já mencionado, a área de mata apresentou um dos maiores conteúdos de carbono orgânico em agregados de tamanho 4-2 mm. Contudo, em agregados menores isso não foi observado, em razão desses apresentarem menos argila e mais areia (Figura 3), o que desfavorece a retenção de carbono orgânico. Coutinho et al. (2010) avaliaram o carbono orgânico total em diferentes classes de tamanho de agregados de um Latossolo Vermelho ácrico sob vegetação de Cerrado, braquiária e crotalária. Em todas as classes de tamanho de agregados estudadas foi observado o mesmo comportamento, a área de Cerrado com maior teor de carbono e as áreas de braquiária e crotalária não diferindo entre si. Nesse caso, possivelmente, diferença na textura entre as classes de agregados pode não ter ocorrido.

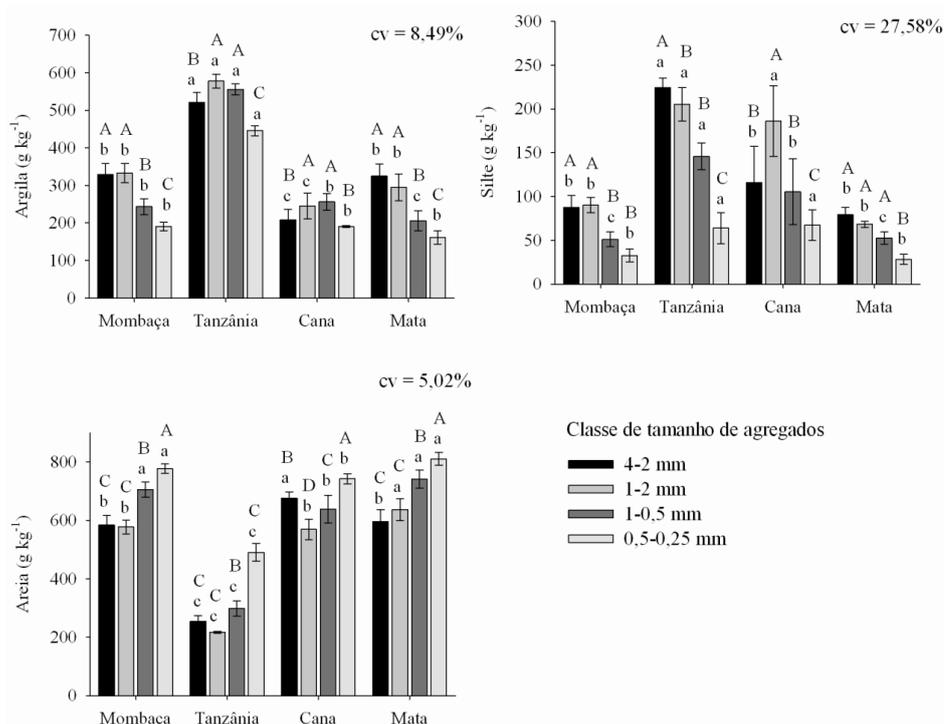


Figura 3. Textura das diferentes classes de tamanho de agregados das áreas de capim Mombaça, capim Tanzânia, cana-de-açúcar e mata nativa. Barras de erro indicam o desvio-padrão da média (n=4). Letras maiúsculas comparam tamanho de agregados em uma mesma área e, letras minúsculas, comparam áreas em uma mesma classe de tamanho de agregados (Scott-Knott; p<0,05).

Foi observado na área de cana-de-açúcar que houve uma redução significativa no teor de carbono orgânico total apenas na menor classe de tamanho de agregados (0,5-0,25 mm) (Figura 2), não havendo diferenças entre as classes 4-2 mm, 1-2 mm e 1-0,5 mm. Isso pode estar relacionado com o sistema de preparo do solo adotado (Tabela 1), o que promoveu a fragmentação dos agregados e distribuição do carbono entre eles.

3.2. Emissão de CO₂

Na avaliação da emissão de CO₂ em condições laboratoriais (respiração microbiana), foi observado efeito da umidade do solo apenas nas amostras provenientes da área de capim Mombaça e Tanzânia (Figura 4A). Nessas áreas, a emissão de CO₂ foi maior quando as amostras apresentaram umidade de 0,20 a 0,30 g g⁻¹, quando comparada às amostras com umidade de 0,10 a 0,15 g g⁻¹. Além do material orgânico disponível e de suas propriedades, a umidade do solo é determinante na emissão de CO₂ (La Scala Júnior et al., 2000), devendo ser

padronizada em estudos dessa natureza. Silva et al. (2009) encontraram que a adição de esterco às amostras de solo em condições mais úmidas proporcionou significativo aumento da emissão de CO₂ quando comparada às condições mais secas. Em condições muito úmidas a respiração microbiana pode ser dificultada pela falta de oxigênio (Linn e Doran, 1984) e, por outro lado, em condições muito secas, pode haver restrições quanto à solubilidade dos compostos orgânicos (Zanchi et al., 2002). Além disso, os microrganismos decompositores em solos possuem uma faixa ótima de umidade para o seu crescimento e atividade (Moreira e Siqueira, 2006).

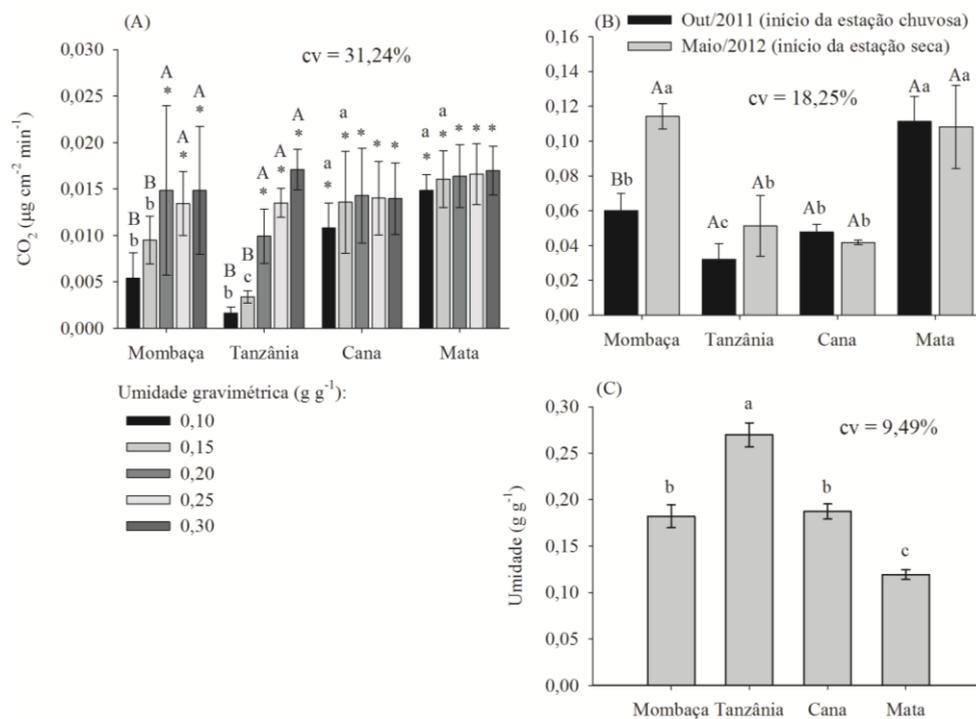


Figura 4. Emissão de CO₂ das amostras das áreas de capim Mombaça, capim Tanzânia, cana-de-açúcar e mata nativa, equilibradas em diferentes valores de umidade, em condições laboratoriais (A) - letras maiúsculas comparam umidade em uma mesma área e, letras minúsculas, comparam áreas em uma mesma umidade (Scott-Knott; p<0,05); (* não significativo). (B) Emissão de CO₂ em condições de campo – letras maiúsculas comparam época de amostragem em uma mesma área e, letras minúsculas, comparam áreas em uma mesma época de amostragem (Scott-Knott; p<0,05). (C) Valores de umidade do solo gravimétrica no momento da realização das análise de emissão de CO₂ no campo – letras comparam áreas independente da época de amostragem. Barras de erro indicam o desvio padrão da média.

Comparando-se as áreas, nas condições mais úmidas (0,20 a 0,30 g g⁻¹ de umidade), as áreas não diferiram entre si. Quando as amostras apresentaram umidade de 0,10 g g⁻¹, a emissão de CO₂ decresceu da forma: cana = mata > mombaça = Tanzânia. Na umidade 0,15 g g⁻¹ da forma: cana = mata > mombaça > Tanzânia. Por esses resultados, percebe-se que em condições mais úmidas ocorre uma igualdade das áreas quanto à emissão de CO₂. A menor emissão de CO₂ pelas áreas de capim Mombaça e Tanzânia pode estar relacionada ao fato de essas áreas serem as mais argilosas, sugerindo uma maior proteção da matéria orgânica presente.

Em condições de campo, independente da época da análise, a emissão de CO₂ teve o seguinte comportamento (Figura 4B): mata nativa > capim Mombaça > cana-de-açúcar = capim Tanzânia. Já a umidade do solo das áreas estudadas decresceu da seguinte forma: capim Tanzânia > Capim Mombaça = cana-de-açúcar > mata nativa (Figura 4C). A área de capim Tanzânia, mesmo sendo a mais úmida foi a que apresentou menor emissão de CO₂, juntamente com a área de cana. A umidade das áreas não foi um fator determinante na emissão de CO₂. Oliveros (2008), em condições de campo, não encontrou correlação entre o fluxo de CO₂ e a umidade do solo.

A textura de cada área (Figura 3) parece explicar bem os valores de umidade encontrados, tendo as áreas mais argilosas maiores valores de umidade e as mais arenosas os menores. A maior emissão de CO₂ encontrada na área de mata possivelmente está relacionada com o seu maior conteúdo de matéria orgânica (Figura 2), o que proporcionou maior atividade dos microrganismos, embora possua menor valor de umidade do solo.

3.3. Distribuição das substâncias húmicas em diferentes classes de tamanho de agregados

Não foi observada interação significativa entre classes de tamanho de agregados e o uso do solo, apenas efeito isolado desses fatores (Figura 5).

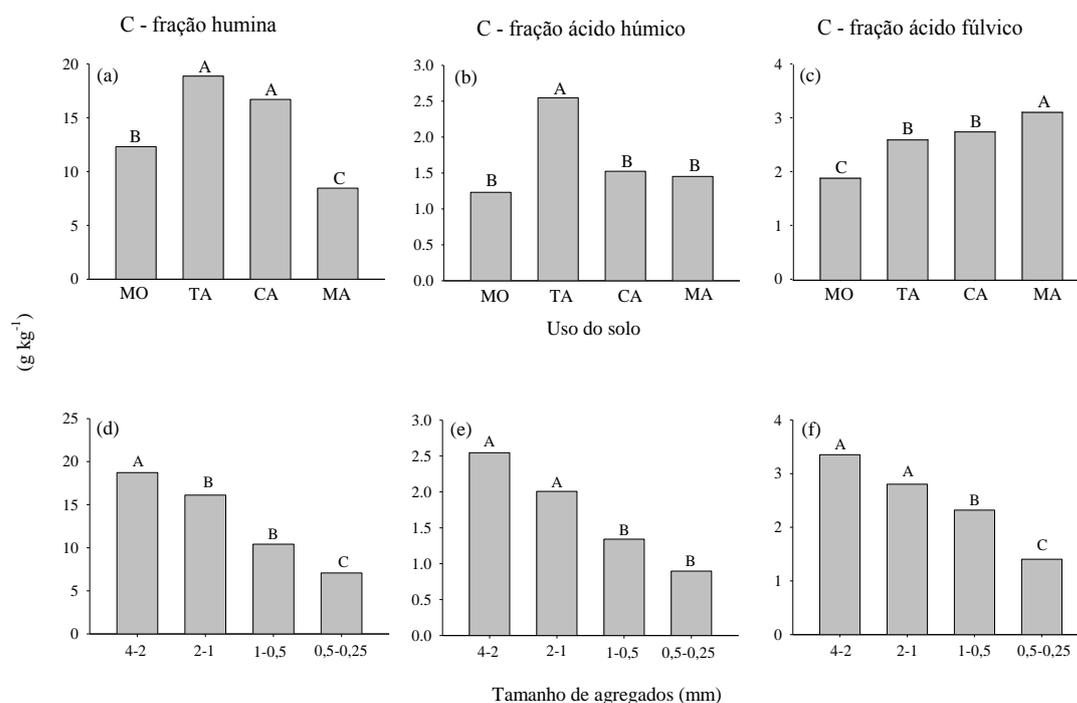


Figura 5. Substâncias húmicas em Latosolo Vermelho distrófico sob diferentes usos e diferentes classes de tamanho de agregados. MO: área de capim Mombaça; TA: área de capim Tanzânia; CA: área de cana-de-açúcar; MA: Área de mata nativa. (Scott_Knott; p < 0,05).

Em todas as áreas a fração predominante foi a humina (Figura 5a), corroborando resultados obtidos por Cunha et al. (2001) quando avaliaram a relação entre o manejo adotado e a porcentagem de cada fração ao longo do perfil de um Latosolo Vermelho-Amarelo. De acordo com Longo e Spíndola (2000), a permanência da humina no solo deve-se à sua insolubilidade e resistência à biodegradação, ocasionada pela formação de complexos metálicos estáveis ou complexos argilo-húmicos. Considerando essa fração, observa-se que as áreas de capim Tanzânia e cana-de-açúcar, que receberam dejetos de

suínos e cama de frango, respectivamente, apresentaram maiores teores. A área de capim Tanzânia ainda apresentou maior teor de ácido húmico (Figura 5b). A fração ácido fúlvico (mais reativa) foi menor nas áreas cultivadas (Figura 5c). Em solos tropicais cultivados a decomposição de material orgânico é facilitada, ao contrário do que ocorre em áreas não cultivadas e naquelas onde o revolvimento do solo é mínimo. No cultivo do solo com revolvimento há uma tendência de incremento na proporção das frações humificadas com características recalcitrantes, principalmente daquelas de natureza aromática e carbonílica. Tal incremento se deve à maior atividade microbiana, cuja preferência sobre materiais orgânicos mais lábeis tende a aumentar a quantidade de materiais de natureza recalcitrante (Dick et al., 2009). Já em áreas onde o solo não é revolvido, ou revolvido minimamente, a atividade microbiana de decomposição é desfavorecida, o que aumenta a quantidade das frações mais lábeis, conforme encontrado por Bayer et al. (2004) em função do maior consumo das recalcitrantes (Dick et al., 2009).

Em todas as áreas estudadas, a concentração das substâncias húmicas diminuiu com a redução do tamanho dos agregados (Figura 5d, 5e e 5f). As classes de agregados de maior tamanho apresentaram textura mais argilosa (Figura 3). Isso parece explicar a maior concentração de substâncias húmicas nos agregados maiores, considerando que a maior parte dos compostos orgânicos humificados no solo estão fortemente aderidos à fração argila (Dick et al., 2009). Na Figura 6, é apresentada a relação obtida entre a concentração das substâncias húmicas e a textura dos agregados do solo. De maneira geral, observa-se que as substâncias húmicas decrescem com o aumento da fração mais grosseira (areia) e aumentam com as frações mais finas (silte e argila). Entretanto, Passos et al. (2007), encontraram maior concentração de substâncias húmicas em agregados de menor tamanho. Segundo Canellas et al. (2001), o maior conteúdo de argila pode favorecer a estabilização da matéria orgânica humificada por meio da formação de complexos organominerais, o que torna a matéria orgânica mais protegida da degradação microbiana.

Os resultados aqui encontrados reforçam a necessidade da preservação da estrutura do solo. Nesse sentido, práticas que visam a manutenção, bem como o aporte de material orgânico sem o revolvimento do solo apresentam, de modo geral, maior concentração das frações mais reativas da matéria orgânica (ácidos fúlvicos e húmicos) e, com o aumento do revolvimento do solo, a fração mais recalcitrante (humina) se sobrepõe às demais, uma vez que os microrganismos dão preferência aos componentes mais lábeis para decomposição.

A expressão AH/AF representa a relação entre os teores de carbono na forma de ácidos húmicos e ácidos fúlvicos e, segundo Martins et al. (2006), indica o grau de conversão do carbono orgânico insolúvel presente no solo em frações solúveis. Valores próximos a 1 da relação AH/AF significam maior equilíbrio entre as frações humificadas mais reativas e valores maiores que 1 indicam o predomínio da fração ácido húmico em detrimento da fração ácido fúlvico. Na Tabela 2 são apresentados os resultados da relação AH/AF para as áreas amostradas nas diferentes classes de tamanho de agregados.

De acordo com Portugal et al. (2008), valores menores que 1 da relação estão relacionados à má evolução do processo de humificação no solo, seja por razões edáficas, de manejo ou adição recente de matéria orgânica. No caso do presente trabalho, os menores valores foram encontrados para as áreas de cana-de-açúcar e mata nativa, e, nesse caso, o tipo de manejo empregado na área de cana, potencializado pela adição de cama-de-frango, parece ter influenciado os valores encontrados. Ainda vale ressaltar que essas áreas foram as que obtiveram maiores valores de carbono associado à fração ácido fúlvico.

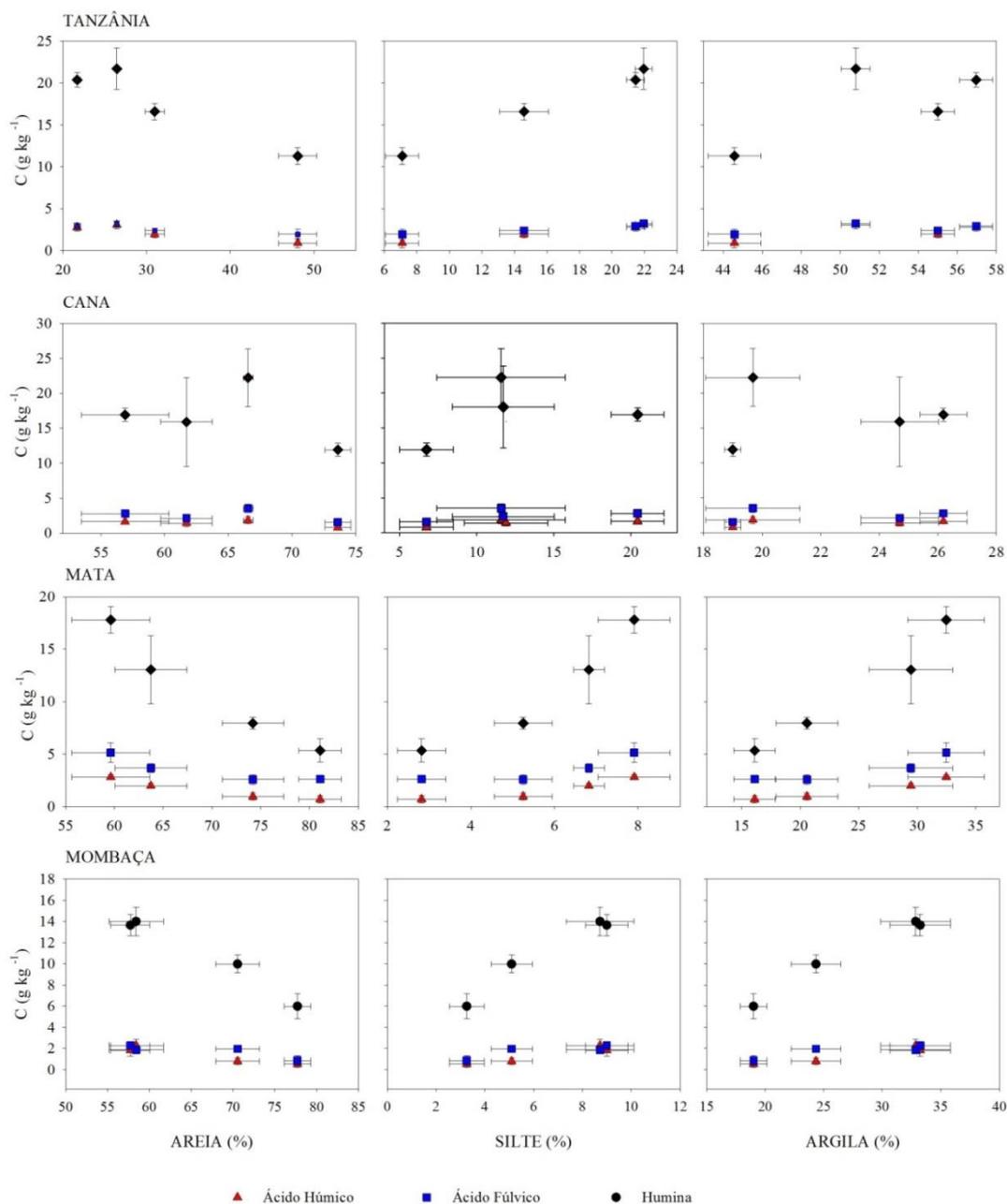


Figura 6. Relação entre substâncias húmicas e textura dos agregados do solo em diferentes condições de uso. Barras de erro indicam o desvio padrão da média (n=3).

Tabela 2. Relação entre a quantidade de carbono orgânico da fração ácido húmico e ácido fúlvico de um Latossolo Vermelho sob diferentes usos no Bioma Cerrado.

	Relação AH/AF			
	Classe de tamanho de agregados (mm)			
Área	4 -2	2-1	1-0,5	0,5-0,25
Mombança	1,29aA	0,82aB	0,93aB	0,42bC
Tanzânia	0,95b ^{ns}	0,96a ^{ns}	0,93a ^{ns}	0,84a ^{ns}
Cana	0,51c ^{ns}	0,60b ^{ns}	0,56b ^{ns}	0,68a ^{ns}
Mata	0,53cA	0,54bA	0,36bA	0,21cB

Nota: Letras maiúsculas iguais na mesma linha e letras minúsculas iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott (p>0,05). ns: não significativo.

Martins et al. (2006) ao verificar a relação AH/AF para diferentes sistemas de manejo encontraram maiores valores para as áreas que obtiveram menor proporção de argila, mas com teores de areia constante em todas as áreas. A proporção do carbono orgânico presente na fração ácido fúlvico (mais reativa) foi menor nas áreas cultivadas em relação à área de mata nativa corroborando resultados obtidos por Silva et al. (2006) ao avaliar a distribuição do carbono das frações humificadas em áreas de floresta e capoeira em relação à duas áreas de cultura. Isso pode estar associado ao constante aporte de material orgânico na área de mata nativa, em consequência da queda de folhas e galhos das árvores, maior atividade biológica de decomposição, manutenção da serapilheira, entre outros fatores.

4. CONCLUSÕES

a) as áreas de mata nativa e capim Tanzânia (mais argilosa) apresentaram maior agregação do solo. O manejo do solo adotado na área de cana-de-açúcar contribuiu significativamente para destruição dos agregados do solo.

b) para uma mesma condição, agregados de maior tamanho apresentaram maior conteúdo de carbono orgânico. Contudo, quando se comparam áreas distintas, uma distribuição diferenciada do carbono orgânico entre as classes de tamanho de agregados foi observada.

c) em todas as áreas selecionadas, houve aumento do carbono orgânico associado às frações de ácidos fúlvicos, húmicos e humina com o aumento do tamanho dos agregados.

d) em estudos de avaliação da distribuição de carbono orgânico entre classes de tamanho de agregados é pertinente a mensuração da textura de cada agregado.

e) o conteúdo de carbono orgânico e textura do solo parecem ter sido determinantes na evolução de CO₂ das áreas estudadas.

5. REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, J. A.; CASSOL, E. A.; REINERT, D. J. Relação entre a erodibilidade em entressulcos e estabilidade de agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 141-151, 2000. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832000000100016>
- ASSIS, C. P.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L. Carbono e nitrogênio em agregados de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 10, p. 1541-1550, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2006001000012>
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 7, p. 677-683, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2004000700009>
- BOX-FAYOS, C.; CALVO-CASES, A.; IMESON, A. C.; SORIANO-SOTO, M. D. Influence of soil properties on the aggregation of some Mediterranean soils and the use of aggregate stability as land degradation indicators. **Catena**, Amsterdam, v. 44, p. 47-67, 2001. [http://dx.doi.org/10.1016/S0341-8162\(00\)00176-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0341-8162(00)00176-4)
- CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. A.; RUMJANEK, V. M.; MORAES, A. A.; GURIDI, F. Distribuição da matéria orgânica e características de ácidos húmicos em solos com adição de resíduos de origem urbana. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n. 12, p. 1529-1538, 2001. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2001001200010>

- CERRI, C. C.; MAIA, S. M. F.; GALDOS, M. V.; CERRI, E. P.; FEIGL, B. J.; BERNOUX, M. Brazilian greenhouse gas emissions: the importance of agriculture and livestock. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 66, n. 6, p. 831-843, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162009000600017>
- COSTA, F. S.; GOMES, J.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Métodos para avaliação das emissões de gases do efeito estufa no sistema solo-atmosfera. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 2, p. 693-700, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782006000200056>
- COUTINHO, F. S.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; RODRIGUES JUNIOR, D. J.; TORRES, J. L. R. Estabilidade de agregados e distribuição do carbono em Latossolo sob sistema plantio direto em Uberaba, Minas Gerais. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v.1, n.2, p.100-105, 2010.
- CUNHA, T. J. F.; MACEDO, J. R.; RIBEIRO, L. P.; PALMIERI, F.; FREITAS, P. L.; AGUIAR, A. C. Impacto do manejo convencional sobre propriedades físicas e substâncias húmicas de solos sob Cerrado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 1, n. 1, p. 27-36, 2001. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782001000100005>
- DICK, D. P.; NOVOTNY, E. H.; DIECKOW, J.; BAYER, C. **Química da matéria orgânica do solo**. Viçosa: SBCS, 2009. p. 1-69.
- DINIZ-FILHO, J. A. F.; OLIVEIRA, G.; LOBO, F.; FERREIRA, L.G.; BINI, L.M.; RANGEL, T. F. L. V. B. Agriculture, habitat loss and spatial patterns of human occupation in a biodiversity hotspot. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 66, n. 6, p.764-771, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162009000600007>
- DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. n: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Eds.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America; American Society of Agronomy, 1994. p. 3-21. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaspecpub35>
- DUFRANC, G.; DECHEN, S. C. F.; FREITAS, S. S.; CAMARGO, O. A. Atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a estabilidade de agregados de dois Latossolos em plantio direto no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 505-517, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832004000300012>
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo**. Rio de Janeiro, 2003.
- FELLER, C.; BEARE, M. H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. **Geoderma**, Amsterdam, v. 79, p.69-116, 1997. [http://dx.doi.org/10.1016/S0016-7061\(97\)00039-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0016-7061(97)00039-6)
- FERREIRA, D. F. SISVAR: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>

- LA SCALA JÚNIOR, N.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; CORÁ, J. E. Short-term temporal changes in the spatial variability model of CO₂ emissions from Brazilian bare soil. **Soil Biology e Biochemistry**, Elmsford, v. 32, n. 10, p. 1459-1462, 2000. [http://dx.doi.org/10.1016/S0038-0717\(00\)00051-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0038-0717(00)00051-1)
- LIMA, J. M.; ANDERSON, S. J. Aggregation and aggregate size effects on extractable iron and aluminum in two Hapludox. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.61, p.965-970, 1997.
- LINN, D. M.; DORAN, J. W. Effects of water-filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and notilled soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 48, p. 1267-1272, 1984. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1984.03615995004800060013x>
- LONGO R. M.; SPÍNDOLA, C. R. C-orgânico, N-total e substâncias húmicas sob influência da introdução de pastagens (*Brachiaria sp.*) em áreas de Cerrado e Floresta Amazônica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 4, p. 723-729, 2000. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832000000400004>
- LONGO, R. M.; ESPÍNDOLA, C. R.; RIBEIRO, A. I. Modificações na estabilidade de agregados no solo decorrentes da introdução de pastagens em áreas de Cerrado e Floresta Amazônica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 3, p. 276-280, 1999.
- MARTINS, E. L.; CORINGA, J. E. S.; WEBER, O. L. S. Carbono orgânico nas frações granulométricas e substâncias húmicas de um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico – LVAd sob diferentes agrossistemas. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 39, n. 3, p. 655-660, 2006.
- MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. **Matéria orgânica do solo: métodos de análises**. Viçosa, 2005. 107p.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras, 2006. 729p.
- OLIVEROS, L. F. C. **Emissões de CO₂ do solo sob preparo convencional e plantio direto em Latossolo Vermelho do Rio Grande do Sul**. 2008. 80f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.
- PASSOS, R. R.; RUIZ, H.A.; CANTARUTTI, R. B.; MENDONÇA, E. S. Carbono orgânico e nitrogênio em agregados de um Latossolo Vermelho distrófico sob duas coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 1109-1118, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832007000500026>
- PERFECT, E.; KAY, B. D. Fractal theory applied to soil aggregation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 55, n. 6, p. 1552-1558, 1991. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1991.03615995005500060009x>
- PORTUGAL, A. F.; JUCKSCH, I.; SCHAEFER, C. E. G. R.; WENDLING, B. Determinação de estoques totais de carbono e nitrogênio e suas frações em sistemas agrícolas implantados em Argissolo Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 2091-2100, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000500030>

- RESENDE, T. M.; MORAES, E. R.; FRANCO, F. O.; ARRUDA, E. M.; ARAÚJO, J. R.; SANTOS, D. S. et al. Avaliação física do solo em áreas sob diferentes usos com adição de dejetos animais no bioma cerrado. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, p. 179-184, 2012.
- ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. O. A. **Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica**. Dourados: Embrapa Agropecuária, 2002. 86p.
- SILVA C. F.; PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; SILVA, E. M. R.; CORREIA, M. E. F. Alterações químicas e físicas do solo em área de agricultura no entorno do Parque Estadual da Serra do Mar, Ubatuba (SP). **Ciências Agrárias**, Belém, n. 46, p. 9-28, 2006.
- SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p. 313-319, 1997.
- SILVA, W. M.; CREMON, C.; MAPELI, N. C.; FERRI, M.; MAGALHÃES, W. A. Atividade microbiana e decomposição de diferentes resíduos orgânicos em um solo sob condições de campo e estresse hídrico simulado. **Agrarian**, Dourados, v. 2, n. 6, p. 33-46, 2009.
- SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S.; DENEFF, K. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 79, n. 1, p. 7-31, 2004.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2004.03.008>
- TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 33, n. 1, p. 141-163, 1982. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2389.1982.tb01755.x>
- YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method of routine determination of carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 19, n. 13, p. 1467-1476, 1988. <http://dx.doi.org/10.1080/00103628809368027>
- YODER, R. E. A direct method of aggregate analysis of soils and study of the physical nature erosion losses. **Journal American Society Agronomy**, Madison, v. 28, n. 5, p. 337-351, 1936. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj1936.00021962002800050001x>
- ZANCHI, F. B.; GOMES, B. M.; VON RANDOW, C.; KRUIJT, B.; MANZI, A. O. Medições dos fluxos de dióxido de carbono e estimativa do “fetch” (área de influência) em pastagem e floresta em Rondônia. In: CONGRESSO DE ESTUDANTES E BOLSISTAS DO EXPERIMENTO LBA, 1., 2002, Belém. **Anais...** Belém: LBA, 2002. p. 13.