

ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO EM SISTEMAS DE CONSÓRCIO E SUCESSÃO DE LAVOURA, PASTAGEM E SILVIPASTORIL EM SANTA TERESA, ES

PHYSICAL AND CHEMICAL ATTRIBUTES IN SYSTEMS OF THE CONSORTIUM AND SUCCESSION OF CROPS, PASTURE AND SILVOPASTORAL IN SANTA TERESA, ESPÍRITO SANTO STATE, BRAZIL

Arcângelo LOSS¹; Eduardo Castro RIBEIRO²; Marcos Gervasio PEREIRA³; Elias Mendes COSTA⁴

1. Professor Adjunto II, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Rural, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil. arcangelo.loss@ufsc.br. 2. Mestrando do Departamento de Fitotecnia, Instituto de Agronomia - IA, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ, Seropédica, RJ, Brasil. Bolsista CAPES. 3. Professor Associado IV, Departamento de Solos – DS – IA- UFRRJ, Seropédica, RJ, Brasil. 4. Mestrando do Curso de Pós-graduação em Agronomia - Ciência do Solo, DS – IA - UFRRJ, Seropédica, RJ, Brasil. Bolsista FAPERJ. Apoio: CNPq

RESUMO: O uso de sistemas com integração de floresta e pastagem promove alterações favoráveis nos atributos edáficos quando comparados com sistemas somente com pastagens ou lavouras. Este trabalho teve como objetivo avaliar atributos físicos e químicos de solos sob diferentes sistemas de uso em Santa Teresa, ES. Os sistemas foram: lavoura com 15 a 20 anos sob preparo convencional do solo, pastagem nativa de capim colônio (*Panicum maximum*) com 40 anos e cultivo de eucalipto consorciado com capim colônio em sistema silvipastoril, implantado há cinco anos. As amostras foram coletadas nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm e foram quantificados a densidade do solo (Ds), volume total de poros (VTP), diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP), carbono orgânico total e fracionamento granulométrico, químico e oxidável da matéria orgânica. O sistema silvipastoril apresentou os maiores valores de VTP, carbono das frações húmicas e carbono oxidável (fração F1) em relação às áreas de lavoura e pastagem, sendo que a área de lavoura mostrou os menores valores de DMP, carbono orgânico particulado (COp) e carbono da fração húmica (C-HUM). Por meio dos atributos físicos – Ds, VTP e DMP – e químicos – COp, carbono das frações húmicas e carbono oxidável (F1, F2 e F3) – foi possível evidenciar diferenças entre os sistemas de uso avaliados. O sistema silvipastoril aumentou o VTP (0-5 e 10-20 cm), a agregação do solo (DMP), os teores de COp (10-20 cm), carbono das frações húmicas (10-20 cm) e carbono oxidável (fração F1, 0-20 cm; fração F2, 10-20 cm) em comparação a área de lavoura. Em relação à área de pastagem, o sistema silvipastoril aumentou o VTP (0-5 e 10-20 cm), o DMP e diminuiu a Ds (10-20 cm), assim como também aumentou os teores de carbono das frações húmicas (10-20 cm) e carbono oxidável (F1, 0-10 cm). A introdução de florestas de eucalipto consorciado com pastagem nativa de *Panicum maximum* favorece o aumento do VTP e das frações da matéria orgânica do solo (frações húmicas e carbono oxidável - fração F1) em relação às áreas de pastagem nativa e lavoura.

PALAVRAS-CHAVES: Pastagem nativa. Carbono orgânico particulado. Frações húmicas. Carbono oxidável.

INTRODUÇÃO

Sistemas de uso do solo que integram a agricultura e a pecuária, sendo comumente chamado de sistema de integração lavoura – pecuária (ILP) vêm se tornando comuns em várias regiões do Brasil e os estudos sobre os efeitos desses sistemas nos atributos edáficos do solo têm-se intensificado. Entre os benefícios da ILP podem-se citar o aumento da ciclagem de nutrientes, melhorias na biota e fertilidade do solo, fixação de carbono, além de aumento na agregação e porosidade do solo (CARVALHO et al., 2010; TOWNSEND et al., 2009; LOSS et al. 2011, 2012).

Além dos sistemas ILP, outros consórcios incluem florestas plantadas, seja associada com pastagens ou com culturas agrícolas, como é o caso

do sistema de integração floresta-pecuária denominado de sistema silvipastoril. Este sistema tem sido apontado como eficiente no sequestro de CO₂ da atmosfera, devido à acumulação deste na madeira e no solo sob a forma de matéria orgânica. Porém, há poucos resultados sobre o efeito de plantios florestais na retirada de CO₂ da atmosfera nos trópicos, ou o período no qual é mantido no ecossistema (PULROLNIK et al., 2009; BALBINO et al., 2011).

O Brasil tem se destacado no cenário internacional como maior exportador mundial de carne bovina e o segundo maior produtor, ficando atrás dos Estados Unidos (ABIEC, 2010). Os sistemas de produção de carne são em sua maioria baseados em pastagens e pecuaristas têm encontrado no sistema silvipastoril uma maneira de intensificar

o uso das terras sem diminuição da produção animal. Nesse sistema as atividades silviculturais e pecuárias são combinadas para gerar produção complementar e interação dos seus componentes (GALZERANO; MORGADO, 2008).

A avaliação das propriedades físicas e químicas sob diferentes sistemas de manejo do solo é importante para caracterizar o ambiente edáfico em relação ao crescimento radicular (FERNANDES et al., 2007, MARCHÃO et al., 2007; WEDDING et al., 2012). A densidade do solo, a porosidade total, o carbono orgânico total do solo e suas frações granulométricas e húmicas, são atributos frequentemente utilizados para mensurar os efeitos dos diferentes sistemas de uso do solo sobre a estrutura do solo e outros atributos edáficos (LOSS et al., 2010, 2011; WEDDING et al., 2012).

Segundo Balbino et al. (2011) e Padovan & Pereira (2012), em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta, tem-se oferta contínua de matéria orgânica do solo (MOS), devido a diversidade de árvores, arbustos e plantas herbáceas, além dos dejetos animais dispostos aleatoriamente na área, com significativas melhorias dos atributos químicos e físicos, e também no acúmulo de carbono na biomassa vegetal e no solo. Entretanto, há carência de informações sobre o efeito dos sistemas silvipastoris nos atributos edáficos.

O uso de sistemas silvipastoris promove alterações no solo e pode propiciar melhorias dos atributos edáficos, comparados com sistemas de uso somente com pastagens ou lavouras. Dessa forma, objetivou-se avaliar os atributos físicos e químicos do solo sob diferentes sistemas de uso em Santa Teresa, ES.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo está localizada na propriedade rural familiar Sítio Boa Esperança, situada na região serrana do ES, no município de Santa Teresa, em Várzea Alegre (19°52'34.10"S e 40°45'56.54"W). O solo foi classificado como Latossolo Vermelho, textura argilosa e relevo ondulado (Embrapa, 2006). O clima da região foi classificado como Aw, segundo Köppen, apresentando-se como chuvoso e quente no verão, seco (1 a 2 meses) e frio no inverno, com precipitação média anual de 1.500 mm, distribuída de outubro a março, e temperatura média anual de 21°C. A maior parte dos remanescentes de vegetação natural na região está incluída no bioma Mata Atlântica (MENDES et al., 2000).

Os tratamentos consistiram de três áreas adjacentes, a saber: lavoura, pastagem e floresta +

pecuária (silvipastoril). Anteriormente, todas as áreas avaliadas eram constituídas por pastagem nativa (PN). Na propriedade rural não é utilizada a irrigação e o mínimo de insumos químicos é aplicado, sendo que, nas áreas avaliadas nunca foi aplicado calcário para correção do solo.

Na área de lavoura é utilizado o preparo convencional do solo, com aração e gradagem e, após a remoção da PN, foi plantado café conilon (*Coffea robusta*) por cerca de 20 anos. Após a remoção do café, cultivou-se milho (*Zea mays*) por dois anos (plantio em novembro e colheita em março), com pastejo extensivo do gado de leite após a colheita do milho. Após o milho, a área foi utilizada para pastejo extensivo no período do verão, sendo a forragem constituída por vegetação espontânea, principalmente capim-colonião (*Panicum maximum* cv. Colonião). Foi aplicado esterco bovino nas covas e nas linhas para o cultivo do café e do milho, respectivamente, e na lavoura de milho também a uréia em cobertura.

O sistema denominado de pastagem é uma área de PN predominantemente com capim-colonião (*Panicum maximum* cv. Colonião), por cerca de 40 anos e com pastejo extensivo. Atualmente se encontra em estágio de sucessão com cobertura de pastagem e capoeira (formação vegetal secundária), ainda com pastejo extensivo.

Entre a área com lavoura e pastagem, tem-se o sistema silvipastoril. Neste o *Eucalipto urograndis* foi implantado há cerca de cinco anos com espaçamento entre linhas de 8 x 4 m. A pastagem de colonião (*Panicum maximum* cv. Colonião) foi estabelecida naturalmente entre as árvores e vêm sendo utilizada de forma extensiva há cerca de um ano e seis meses.

Para avaliação dos sistemas uma área com cerca de 500 m² foi delimitada e coletadas amostras de solo em dezembro de 2010. Em cada sistema foram abertas quatro mini-trincheiras e as amostras coletadas nas profundidades de 0-5, 5,0-10 e 10-20 cm. Para avaliar a densidade do solo (Ds), pelo método do anel volumétrico, coletaram-se quatro amostras indeformadas por profundidade e para a estabilidade de agregados quatro amostras indeformadas de 0-5 e 5-10 cm, com auxílio de enxadão e espátula (EMBRAPA, 1997). Para caracterização da densidade das partículas (Dp) e matéria orgânica do solo, três amostras foram coletadas em cada profundidade e em cada sistema para formar uma amostra composta. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com três tratamentos (lavoura, pastagem e silvipastoril) e quatro repetições.

A Dp foi determinada pelo método do balão volumétrico, e com os dados de Ds e Dp determinou-se o volume total de poros (VTP%). A estabilidade de agregados foi determinada pelo método da via úmida, sendo por meio da massa, calculado o diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados (EMBRAPA, 1997). Para a quantificação do carbono orgânico total (COT) utilizou-se o método de Yeomans & Bremner (1988).

As frações húmicas da MOS foram separadas em três partes: fração ácidos fúlvicos (FAF), fração ácidos húmicos (FAH) e humina (HUM) através da técnica de solubilidade diferencial estabelecida pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (SWIFT, 1996) e adaptada por Benites et al. (2003). Para tal, pesou-se uma massa de terra fina seca ao ar (TFSA) igual a 1,0 g, submetendo-se ao contato com 20 mL de NaOH 0,1 mol L⁻¹ por 24 horas. A separação entre o extrato alcalino (EA = FAF + FAH) e o resíduo (HUM) foi feita por centrifugação a 5000 g por 30 minutos. Seguiu-se mais uma lavagem com a mesma solução anterior, juntando-se o extrato com o anteriormente obtido, resultando em volume final de aproximadamente 40 mL. O resíduo foi retirado dos tubos da centrífuga, acondicionados em placa de petri e secado a 65 °C (secagem completa). O pH do EA foi ajustado a 1,0 (±0,1) com H₂SO₄ 20%, seguido de decantação por 18 horas em geladeira. O precipitado (FAH) foi separado da fração solúvel (FAF) por filtragem e ambos os volumes aferidos a 50 mL, com água destilada.

A quantificação do carbono orgânico nas frações C-FAF e C-FAH foi feita usando-se alíquotas de 5,00 mL de extrato, 1,00 mL de dicromato de potássio 0,042 mol L⁻¹ e 5,00 mL de H₂SO₄ concentrado, em bloco digestor a 150 °C (30 min) e titulação com sulfato ferroso amoniacal 0,0125 mol L⁻¹. No resíduo seco em estufa, avaliou-se o C-HUM, adicionando-se 5,00 mL de dicromato de potássio 0,1667 mol L⁻¹ e 10,0 mL de H₂SO₄ concentrado, em bloco digestor a 150 °C (30 min) e titulação com sulfato ferroso amoniacal 0,25 mol L⁻¹ e indicador ferroin (YEOMANS; BREMNER, 1988).

As frações granulométricas da MOS foram determinadas de acordo com Cambardella e Elliot (1992). Aproximadamente 20 g de TFSA e 60 mL de solução de hexametáfosfato de sódio (5 g L⁻¹) foram agitados durante 15 horas em agitador horizontal e em seguida a suspensão formada foi

passada em peneira de 53 µm com auxílio de jato de água. O material retido na peneira, que consiste no carbono orgânico particulado (COP) associado à fração areia, foi seco em estufa a 60°C, quantificado em relação a sua massa e moído em gral de porcelana para análise do COT (YEOMANS; BREMNER, 1988). O carbono orgânico associado aos minerais (COam) das frações silte e argila, foi obtido por diferença entre o COT e COP.

O fracionamento oxidável do carbono foi realizado por graus de oxidação (CHAN et al., 2001). Amostras de 0,5 g de TFSA foram acondicionadas em erlenmeyer de 250 mL, onde foi adicionado 10 mL K₂Cr₂O₇ 0,167 mol L⁻¹ e quantidades de H₂SO₄, correspondentes às concentrações de 3, 6, 9 e 12 mol L⁻¹. A oxidação foi realizada sem fonte externa de calor e a titulação dos extratos foi feita com uma solução de Fe(NH₄)₂(SO₄)₂.6H₂O 0,5 mol L⁻¹, utilizando-se como indicador a fenantrolina. O fracionamento do carbono produziu quatro frações, com graus decrescentes de oxidação: Fração 1 (F1): C oxidado por K₂Cr₂O₇ em meio ácido com 3 mol L⁻¹ de H₂SO₄; Fração 2 (F2): diferença entre o C oxidado por K₂Cr₂O₇ em meio ácido com 6 e 3 mol L⁻¹ de H₂SO₄; Fração 3 (F3): diferença entre o C oxidado por K₂Cr₂O₇ em meio ácido com 9 e 6 mol L⁻¹ de H₂SO₄; Fração 4 (F4): diferença entre o C oxidado por K₂Cr₂O₇ em meio ácido com 12 e 9 mol L⁻¹ de H₂SO₄.

Os dados foram analisados quanto à normalidade e homogeneidade pelos testes de Lilliefors e Cochran & Bartlett e submetidos à análise de variância. As médias comparadas pelo teste t-LSD a 5% de probabilidade, utilizando-se o programa estatístico SAEG (Sistema para Análises Estatísticas).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para os valores de Ds, Dp e VTP% não foram observadas diferenças entre os sistemas avaliados, com exceção a profundidade de 10-20 cm para Ds (Tabela 1). Nesta profundidade verificaram-se menores valores de Ds no sistema silvipastoril e maiores na área de pastagem, sendo na área de lavoura verificados valores intermediários aos demais sistemas. Já o VTP% apresentou maiores valores no sistema silvipastoril, para 0-5 e 10-20 cm, sem diferenças entre os demais usos.

Tabela 1. Valores médios de densidade (Ds), densidade de partículas (Dp) e volume total de poros (VTP) sob diferentes sistemas de uso do solo em Santa Teresa, ES.

Sistemas avaliados	Ds	Dp	VTP
	Mg m ⁻³	Mg m ⁻³	%
0-5 cm			
Lavoura	1,42 A	2,39 A	41 B
Pastagem nativa	1,41 A	2,35 A	40 B
Silvipastoril	1,30 A	2,40 A	46 A
CV(%)	4,71	5,22	4,85
5-10 cm			
Lavoura	1,35 A	2,39 A	44 A
Pastagem nativa	1,38 A	2,40 A	43 A
Silvipastoril	1,31 A	2,36 A	45 A
CV(%)	5,81	6,23	5,28
10-20 cm			
Lavoura	1,34 AB	2,37 A	44 B
Pastagem nativa	1,47 A	2,40 A	39 B
Silvipastoril	1,21 B	2,40 A	50 A
CV(%)	8,05	9,23	7,85

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste t- LSD. CV=Coefficiente de variação.

Os menores valores de Ds (10-20 cm) e os maiores valores de VTP (0-5 e 10-20 cm) no sistema silvipastoril podem decorrer do tempo de uso das áreas, uma vez que o número de animais (pastejo extensivo) é o mesmo nas três áreas e também não foram encontradas diferenças para os teores de carbono orgânico total (COT) (Figura 1). O menor tempo de pastejo foi no sistema silvipastoril, de apenas 1,5 anos, comparado a mais de 40 anos na área de pastagem. Os valores de Ds intermediários na área de lavoura (estatisticamente iguais entre as áreas silvipastoril e pastagem) também podem estar associados ao tempo de pastejo (4 anos). Este padrão mostra que o pisoteio excessivo promove a compactação do solo, principalmente quando as condições hídricas do solo facilitam este processo, uma vez que a taxa de lotação animal é a mesma em todo o ano, por um prolongado tempo.

O pastejo extensivo, geralmente não é planejado para se adequar o tempo de regeneração das forrageiras. Com o tempo, as plantas forrageiras perdem a capacidade de produção, logo com menor consumo de massa verde pelo animal, e essa redução de parte aérea e radicular compromete ciclagem de nutrientes e a adição de matéria orgânica ao solo. A baixa cobertura vegetal resultante favorece a compactação pelos animais, reduzindo assim a eficiência das pastagens (FERREIRA et al., 2010).

A área de lavoura apresentou valor intermediário de Ds na profundidade de 10-20 cm. Na lavoura sob preparo convencional o

revolvimento do solo com aração e gradagem causa ruptura dos agregados e, posteriormente, a redução da estabilidade de agregados estáveis em água (DMP, Tabela 2), com aumento da Ds e redução da porosidade (Tabela 1), quando comparada com o sistema silvipastoril.

No sistema silvipastoril avaliado, além do tempo de pastejo extensivo, os maiores valores de VTP e menores de Ds, na profundidade de 10-20 cm, estão relacionados aos maiores teores de carbono na forma de C-FAF e C-FAH (Figura 3). Estes resultados corroboram Canellas et al. (2000) e Loss et al. (2010), onde esses autores correlacionaram os valores Ds e VTP com as frações húmicas da MOS em diferentes sistemas de uso do solo. Os autores encontraram correlações negativas da Ds com as frações húmicas e positivas com o VTP, indicando que quanto maiores os teores das frações húmicas menores os valores de Ds, com resultado contrário para o VTP. Entre as frações húmicas, os autores observaram que as frações C-FAF e C-FAH se correlacionaram com a Ds e VTP quando comparadas a fração C-HUM.

Os maiores valores de DMP foram encontrados nas áreas de pastagem e silvipastoril em todas as profundidades (Tabela 2). Salton et al. (2008), trabalhando com pastagens rotacionadas e lavouras sob preparo convencional do solo e sistema plantio direto, em Latossolo Vermelho, textura argilosa, em Dourados, MS, atribuíram os maiores valores de DMP nas áreas de pastagem a grande produção de raízes e maior exploração do solo, favorecendo a formação de agregados de maior

tamanho e mais estáveis, em relação a área com lavoura sob preparo convencional.

Tabela 2. Valores de diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP) sob diferentes sistemas de uso do solo em Santa Teresa, ES.

Sistemas avaliados	DMP (mm)	
	0-5 cm	5-10 cm
Lavoura	3,555 B	3,279 B
Pastagem nativa	4,652 A	4,380 A
Silvipastoril	4,530 A	4,139 A
CV(%)	3,86	5,95

Letras iguais na coluna não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste t - LSD. CV=coeficiente de variação.

Os resultados de DMP na área de lavoura, onde se tem revolvimento do solo, refletem a falta de cobertura do solo, já que um dos fatores que influencia na redução da estabilidade de agregados no sistema de lavoura é a baixa cobertura vegetal do solo, principalmente na época seca do ano (junho a setembro), pela ação de pastejo pelo gado e por falta d'água para rebrota. Dessa forma, no início do período chuvoso (outubro), o solo está menos protegido do impacto das gotas de chuva quando comparado as demais áreas. E, assim tem-se o rompimento dos agregados, com aumento da Ds (Tabela 1) e diminuição da estabilidade de agregados de maior tamanho, culminando em menores valores de DMP (Tabela 2).

Trabalhando em áreas com floresta de eucalipto, pastagem, mata natural de araucária e plantio convencional de cenoura e abobora sob Latossolo Vermelho-Amarelo no município de Maria da Fé, MG, Vieira (2010) encontrou maiores valores de DMP nas áreas com eucalipto com idade de 5 anos e de pastagem (10 anos) em relação à

mata natural de araucária (40 anos) e ao plantio de cenoura e abobora (2 anos) sob preparo convencional, corroborando com os resultados apresentados na Tabela 2. Vieira (2010) atribuiu os maiores valores de DMP e também de VTP% na área de eucalipto ao não revolvimento do solo, associado ao aporte de resíduos vegetais e a influencia do sistema radicular.

Não foram observadas diferenças significativas para os teores de COT entre os diferentes sistemas avaliados em todas as profundidades (Figura 1). Os teores de COT nos sistemas e profundidades são similares. Estes resultados indicam que embora sejam distintos os tempos de uso das áreas, o aporte de material vegetal ao solo foi semelhante entre os sistemas. E, entre os sistemas, destacou-se o silvipastoril, com o menor tempo de uso do solo, mas com valores similares aos demais, mostrando que o sistema silvipastoril é eficiente para aumentar e/ou manter os teores de COT quando comparado com os demais usos, que possuem maior tempo de implantação.

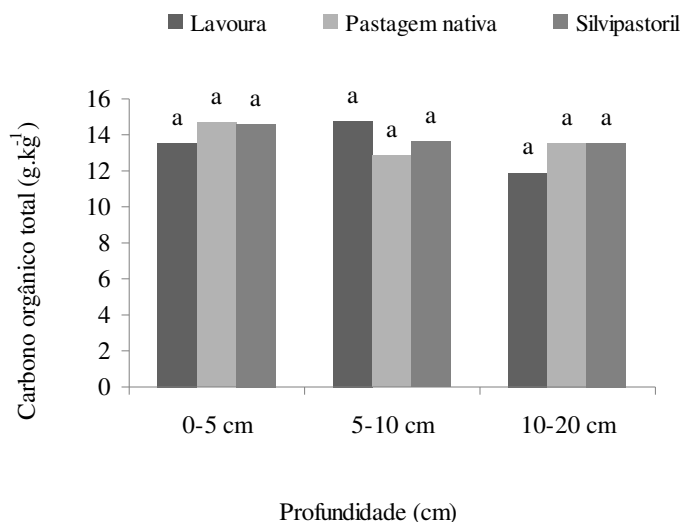


Figura 1. Valores médios de carbono orgânico total (COT) nos diferentes sistemas de uso do solo em Santa Teresa, ES. Letras iguais na coluna não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste t - LSD.

Os resultados observados aqui se assemelham aos de Pulrolnik et al. (2009) que trabalhando com Latossolo Vermelho-Amarelo muito argiloso no Vale do Jequitinhonha, MG, não encontraram diferenças significativas nos teores de COT entre áreas de pastagem, plantio de eucalipto e Cerrado. Já Pulrolnik et al. (2009) atribuíram os resultados observados a semelhança do aporte vegetal no solo pelos sistemas no decorrer do tempo.

Para o fracionamento granulométrico da MOS foram verificadas diferenças significativas na fração COP apenas na profundidade de 10-20 cm,

sendo a área de pastagem superior as demais, seguida pela área de silvipastoril (Figura 2). Nas duas primeiras profundidades não houve diferença significativa para o COP, porém o COP para a área de pastagem apresentou relativamente valor 13% e 26% acima das áreas de silvipastoril e lavoura, respectivamente, para 0-5 cm e, de 11% e 15% para 5-10 cm. Estes resultados podem ser atribuídos a cobertura vegetal que favorece a deposição de resíduos vegetais no solo na pastagem, e também a diversificação de plantas (gramíneas e arbustos) com o maior aporte de resíduos vegetais e efeito positivo sobre a agregação.

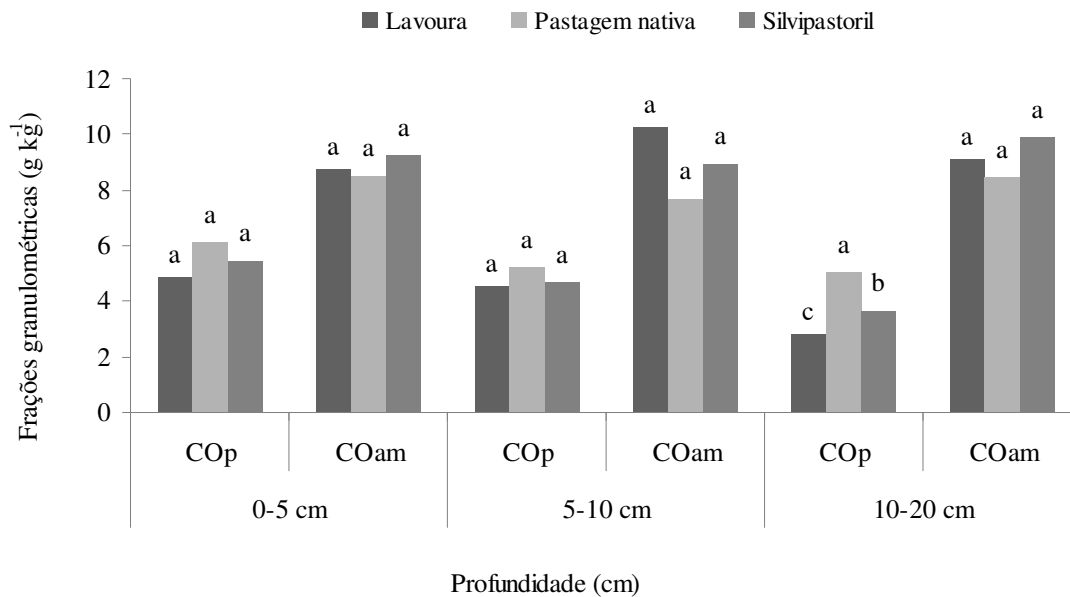


Figura 2. Valores médios de carbono das frações granulométricas (carbono orgânico particulado – COp e carbono orgânico associado aos minerais silte e argila - COam) nos diferentes sistemas de uso do solo em Santa Teresa, ES. Letras iguais na coluna não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste t - LSD.

O COp é uma fração mais disponível para a atividade biológica, sendo constituída por partículas derivadas de resíduos de plantas e hifas com estrutura celulares reconhecíveis, cuja permanência no solo está condicionada à proteção física desempenhada por agregados (GOLCHIN et al., 1994). Nesse estudo as áreas com maior DMP (pastagem e silvipastoril, Tabela 2), apresentaram, respectivamente, maiores teores de COp (Figura 2, 10-20 cm), confirmando a importância da agregação do solo na dinâmica da MOS para a sua oclusão nos agregados.

Os menores valores de COp na área de lavoura estão associados ao seu manejo, onde o

revolvimento do solo conduz a quebra dos agregados e a exposição da MOS, acelerando a sua mineralização e culminando em menores teores de COp. Para a fração COam não foram encontradas diferenças significativas entre os sistemas em todas as profundidades. Padrão semelhante ao COT, indicando similaridades no aporte de material vegetal.

Quanto às frações húmicas da MOS, para o C-HUM foram observadas diferenças apenas na profundidade de 10-20 cm, com maiores valores de C-HUM na área com silvipastoril e menores para lavoura (Figura 3).

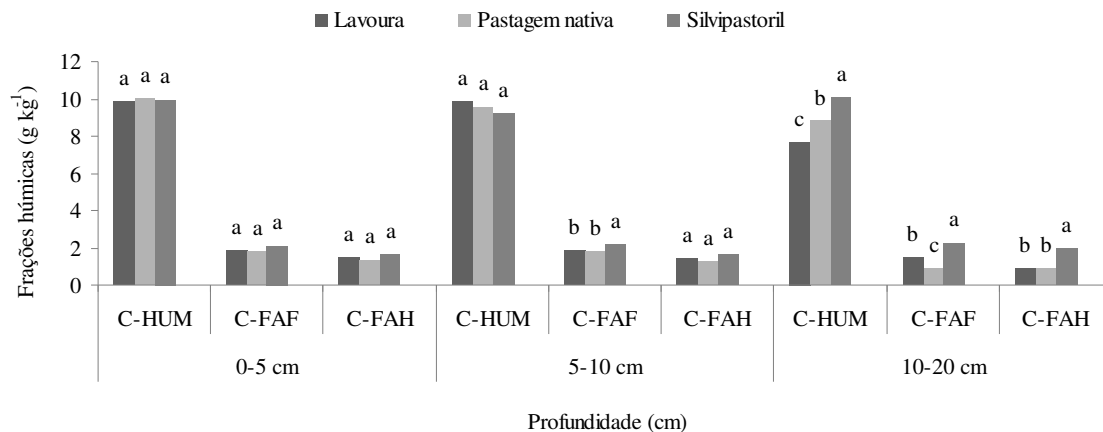


Figura 3. Valores médios das frações húmicas (carbono da fração humina - C-HUM, carbono da fração ácidos fúlvicos - C-FAF e carbono da fração ácidos húmicos - C-FAH) nos diferentes sistemas de uso do solo em Santa Teresa, ES. Letras iguais na coluna não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste t – LSD.

Em estudo com pastagem, sistema agroflorestal, sistema agrossilvipastoril e mata nativa sob Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico na região norte do Mato Grosso, Martins et al. (2009) encontraram maior valor para a fração C-HUM na área com sistema agrossilvipastoril em comparação com outras frações e outras áreas, a saber: pastagem, sistema agroflorestal e mata nativa. Os autores atribuíram o resultado a baixa degradabilidade dos resíduos florestais devido a constituição química recalcitrante. O que corrobora os maiores valores proporcionais de C-HUM na área de sistema silvipastoril (Figura 3) desse estudo.

Esses resultados (Figura 3) mostram a forte interação do C-HUM com a fração mineral do solo, uma vez que em todos os sistemas e profundidades foram observados maiores valores do COT na forma de carbono da fração C-HUM. O predomínio de C-HUM intensifica as propriedades da MOS, tais como: retenção de umidade, melhor estruturação do solo e maior retenção de cátions (ANJOS et al., 2008; SOUZA; MELO, 2003; LOSS et al., 2010).

Para o C-FAF foram encontradas diferenças significativas entre as áreas para as profundidades de 5-10 e 10-20 cm, sendo que o sistema silvipastoril apresentou os maiores valores nas duas profundidades, e a pastagem os menores valores na profundidade de 10-20 cm, não diferindo da lavoura na profundidade de 5-10 cm. O C-FAF é a fração que possui o menor tempo de residência no solo em comparação com as frações do C-FAH e C-HUM (STEVENSON, 1994).

O sistema silvipastoril contribuiu para o incremento de carbono sob a forma de C-FAF, provavelmente devido a sua serapilheira, com maiores teores de lignina e polifenóis. Esses

resultados corroboram Lima et al. (2008) que estudando áreas de eucalipto antes ocupada com pastagem e mata natural sob Latossolo Vermelho na região do Vale do Rio Doce, MG, encontraram incremento de carbono nas formas de C-FAF e C-FAH em áreas cultivadas com eucalipto por três décadas, comparadas com pastagem.

O sistema silvipastoril apresentou os maiores teores de C-FAF e C-FAH (Figura 3). Lima et al. (2008) encontraram resultado semelhante e atribuíram este aumento a deposição de resíduos orgânicos mais lignificados e ao tempo de cultivo com eucalipto, dando condições para os microrganismos atuarem na sua decomposição, favorecendo o processo de humificação.

Para o C-FAH foram encontradas diferenças significativas apenas na profundidade de 10-20 cm, sendo a o sistema silvipastoril superior aos demais. Este resultado é atribuído a capacidade do sistema silvipastoril de aumentar o C-FAH, forma mais resistente e estável no solo, oriunda da estabilização da MOS depositada na superfície como serapilheira das árvores e pela rizodeposição das pastagens.

Os resultados da Figura 3, com aumento de C-FAF e C-FAH no sistema silvipastoril concordam Pulrolnik et al. (2009), que encontraram valores de C-FAF e C-FAH de cerca de 16,6 e 17,5%, respectivamente, maiores na plantação de eucalipto em comparação com pastagem, no Vale do Jequitinhonha, MG, e atribuíram este resultado à maior produção de resíduos vegetais da cultura e a menor taxa de decomposição. Soares (2009) ressaltou ainda que a serapilheira de solos florestais geralmente é constituída por resíduos lignificados cuja composição química dificulta a decomposição, quando comparados àquela oriunda de sistemas

agrícolas, possuindo alta relação C/N em torno de 30 a 100, o que resulta em decomposição mais lenta.

Na maioria dos solos, as formas mais recalcitrantes da MOS (HUM e FAH) são dominantes em termos quantitativos e, portanto, constituem compartimento com papel crucial no sequestro do C em formas estáveis e com prolongado tempo de residência. Em cultivos de ciclo mais longo, como o eucalipto no sistema de integração floresta-pecuária, a MOS parece ser uma das características estreitamente relacionadas com a sustentabilidade da produção em longo prazo (LIMA et al., 2008).

Em relação às frações do carbono oxidável, foram verificadas maiores diferenças para as frações

mais lábeis (F1 e F2). O sistema silvipastoril apresentou os maiores teores de carbono na fração F1 em todas as profundidades e na fração F2 (10-20 cm), não diferindo da pastagem (Tabela 3). Este resultado decorre do maior aporte de material vegetal oriundos das gramíneas e árvores, consequentemente, maiores teores de carbono nas frações mais lábeis (F1 e F2) neste sistema. Nos sistemas de manejo que favorecem o aporte de matéria orgânica via resíduos vegetais, tais como o sistema plantio direto, sistema de cultivo em aléias, sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, os valores de carbono das frações F1 e F2 são maiores, com maior proporção para a fração F1 (CHAN et al., 2001; LOSS et al., 2009).

Tabela 3. Valores médios das frações oxidáveis de carbono nos diferentes sistemas de uso do solo em Santa Teresa, ES.

Sistemas avaliados	Frações oxidáveis (g kg ⁻¹)			
	F1	F2	F3	F4
0-5 cm				
Lavoura	4,50 B	1,83 B	3,00 A	1,83 A
Pastagem nativa	3,63 B	4,08 A	3,63 A	1,67 A
Silvipastoril	5,83 A	2,00 B	3,50 A	1,50 A
CV(%)	12,05	17,10	26,21	27,08
5-10 cm				
Lavoura	3,38 B	2,83 A	3,17 A	1,30 A
Pastagem nativa	2,47 C	2,76 A	3,83 A	1,13 A
Silvipastoril	5,00 A	2,83 A	3,35 A	1,50 A
CV(%)	10,73	13,70	10,14	25,53
10-20 cm				
Lavoura	3,00 B	1,33 B	3,00 B	1,00 A
Pastagem nativa	4,13 AB	2,76 AB	4,00 A	1,03 A
Silvipastoril	5,00 A	3,25 A	3,35 AB	1,08 A
CV(%)	17,80	21,17	12,85	22,80

Letras iguais na coluna não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste t – LSD.; V=coeficiente de variação.

As frações F1 e F2 estão associadas com a disponibilidade de nutrientes e com a formação de macroagregados (CHAN et al., 2001), sendo a fração F1 a de maior labilidade no solo (LOSS et al., 2009). Dessa forma, no sistema silvipastoril, os maiores valores de carbono da F1 estão diretamente relacionados aos maiores valores de C-FAF e C-FAH (Figura 3), favorecendo os maiores valores de VTP e menores de Ds no sistema silvipastoril em comparação aos demais (Tabela 1).

Os menores teores de carbono na lavoura para as frações F1, F2 e F3, na profundidade de 10-20 cm, indicam que as práticas de aração e gradagem, pela menor conservação de cobertura de resíduos vegetais, diminuíram os valores de COP (Figura 2).

As frações F3 e F4 são mais resistentes no solo e têm maior tempo de permanência em

comparação com as frações F1 e F2 (CHAN et al., 2001). Desse modo, na pastagem e no sistema silvipastoril, que apresentaram maiores valores para F3 (10-20 cm), a cobertura com gramíneas forrageiras pode propiciar a formação de substâncias com maior peso molecular e estabilidade química, expressas pelo C-HUM, que apresentou maiores valores nessa profundidade (Figura 3) para a pastagem e o sistema silvipastoril, em comparação a lavoura. A fração F4 não foi diferente entre os sistemas avaliados, o que pode ser explicado pelo tempo de adoção dos sistemas ainda recente para expressar efeito sobre essa fração de alta recalcitrância no solo (CHAN et al., 2001), corroborando resultados encontrados para COam (Figura 2).

CONCLUSÕES

Por meio dos atributos físicos – Ds, VTP% e DMP – e químicos – COP, C-HUM, C-FAF, C-FAH e carbono oxidável (F1, F2 e F3) – foi possível evidenciar diferenças entre os sistemas de uso avaliados.

O sistema com lavouras diminuiu a agregação do solo (DMP, 0-10 cm) e os teores de COP e C-HUM (ambos em 10-20 cm) em comparação aos demais sistemas avaliados.

O sistema silvipastoril aumentou o VTP% (0-5 e 10-20 cm), a agregação do solo (DMP, 0-10 cm), os teores de COP (10-20 cm), carbono das frações húmicas (10-20 cm) e carbono oxidável (F1,

0-20 cm; F2, 10-20 cm) em comparação a área de lavoura.

Em relação ao sistema de pastagem, o sistema silvipastoril aumentou o VTP% (0-5 e 10-20 cm), o DMP (0-10 cm) e diminuiu a Ds (10-20 cm), assim como também aumentou os teores de carbono das frações húmicas (10-20 cm) e carbono oxidável (F1, 0-10 cm).

A introdução de florestas de eucalipto consorciado com pastagem nativa de *Panicum maximum* favorece o aumento do VTP e das frações da matéria orgânica do solo (frações húmicas e carbono oxidável (fração F1)) em relação às áreas de pastagem nativa e lavoura.

ABSTRACT: The use of integrated systems of forest and grassland promotes favorable changes in soil attributes when compared to systems using only ground with pastures and crops. This study aimed to evaluate some physical and chemical attributes of soils under different land use systems in the Santa Teresa, ES. Were evaluated the systems: crops with 15 to 20 years under conventional tillage system; native pasture of grasses (*Panicum maximum*) with 40 years; and cultivation eucalyptus intercropped with grasses (*Panicum maximum*) in silvopastoral system, established five years ago. Samples were collected at depths of 0-5, 5-10 and 10-20 cm. We quantified soil density (BD), total pore volume (TPV), mean weight diameter of aggregates (MWD), total organic carbon and granulometric, chemical and oxidizable fractionation of organic matter. The silvopastoral system had higher TPV, oxidizable carbon (fraction F1) and humic fractions relative areas of crops and pasture. In the area of crops there were lower values of MWD, particulate organic carbon (POC) and carbon in the humin fraction (C-HUM). Through the physical attributes (BS, TPV and MWD) and chemical attributes (POC, carbon in the humic fractions and oxidizable carbon fractions (F1, F2 and F3)) was possible to show differences between the systems evaluated. The silvopastoral system increased the TPV (0-5 and 10-20 cm), soil aggregation (MWD), the levels of POC (10-20 cm), humic fractions carbon (10-20 cm) and oxidizable carbon (F1, 0-5 cm; F2, 10-20 cm) compared to the crops area. Regarding the pasture area, the silvopastoral system increased the TVP (0-5 and 10-20 cm), the MWD and decreased Ds values (10-20 cm), as well as increased content of humic fractions carbon (10-20 cm) and oxidized carbon (F1, 0-10 cm). The introduction of eucalyptus forests in the form of a consortium with native pasture of *Panicum maximum* favors increased of the TPV, and soil organic matter fractions (humic fractions and oxidizable carbon (F1 fraction)) in relation to native pasture and crops systems.

KEYWORDS: Native pasture. Particulate organic carbon. Humic fractions. Oxidizable carbon.

REFERENCIAS

ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G.; FONTANA, A. Matéria orgânica e pedogênese. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F. A. O., ed. **Fundamentos da matéria orgânica do solo ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2.ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008, p. 65-86.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNES – ABIEC. 2010. Estatísticas / Mercado mundial. Disponível em: <http://www.abiec.com.br/download/stat_mercadomundial.pdf>. Acesso em 05 Dez. 2011.

BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; OLIVEIRA, P.; KLUTHCOUSKI, J.; OLIVEIRA, P.; GALERANI, P. R.; VILELA, L. Agricultura sustentável por meio da integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF). **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 138, p. 1-18, 2012.

BENITES, V. M.; MADARI, B., MACHADO, P. L. O. A. **Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: Um procedimento simplificado de baixo custo**. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2003. 7p. (Comunicado Técnico n.16).

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.56, n. 3, p. 777-783, 1992.

CANELLAS, L. P.; BERNER, P. G.; SILVA, S. G.; SILVA, M. B. E.; SANTOS, G. A. Frações da matéria orgânica em seis solos de uma topossequência no Estado do Rio de Janeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 1, p. 133-143, 2000.

CARVALHO, J. L. N.; CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C. Sistema de plantio direto aumenta o sequestro de carbono pelo solo. **Visão agrícola**, Piracicaba, v. 9, n. 1, p. 32-35, 2010.

CHAN, K. Y.; BOWMAN, A.; OATES, A. Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an oxic paleustalf under different pasture ley. **Soil Science**, New Brunswick, v. 166, n. 1, p. 61-67, 2001.

Embrapa. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006, 306 p.

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa Agropecuária de Solos (Rio de Janeiro). **Manual de Métodos de análise de solo**. 2ª ed. Rio de Janeiro, 1997, 212p.

FERNANDES, F. C. S.; MONICA, M. S.; ALVES, M. C. Produtividade de culturas e atributos físicos de um Latossolo afetado pelo sistema de manejo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 6, n. 3, p. 297-308, 2007.

FERREIRA, R. R. M.; FILHO, J. T.; FERREIRA, V. M. Efeitos de sistemas de manejo de pastagens nas propriedades físicas do solo. **Semina. Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 4, p. 913-932, 2010.

GALZERANO, L.; MORGADO, E. Eucalipto em sistemas agrossilvipastoris. **Revista eletrônica de Veterinária**, Toluca, v. 9, n. 3, p. 695-7504, 2008.

GOLCHIN, A.; OADES, J. M.; SKJEMSTAD, J. O.; CLARKE, P. Soil structure and carbon cycling. **Australian Journal Soil Reserach**, Collingwood, v. 32, n. 5, p. 1043-1068, 1994.

LIMA, A. M. N.; SILVA, I. R.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; MENDONÇA, E. S.; DEMOLINARI, M. S. M.; LEITE, F. P. Frações da matéria orgânica do solo após três décadas de cultivo de eucalipto no Vale do Rio Doce-MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 053-1063, 2008.

LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C.; GIACOMO, S.G.; PERIN, A. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.10, p.1269-1276, 2011.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; FERREIRA, E. P.; SANTOS, L. L.; BEUTLER, S. J.; FERRAZ-JUNIOR, A. S. L. Frações oxidáveis do carbono orgânico do solo em sistema de aléias sob Argissolo Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 867-874, 2009.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A.; ANJOS, L. H. C. Carbon and nitrogen content and stock in no-tillage and crop-livestock integration systems in the Cerrado of Goiás State, Brazil. **Journal of Agricultural Science**, Toronto, v. 4, n. 8, p. 96-105, 2012.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, E. M. R. Quantificação do carbono das substâncias húmicas em diferentes sistemas de uso do solo e épocas de avaliação. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 4, p.913-922, 2010.

- MARCHÃO, R. L.; BALBINO, L. C.; SILVA, E. M.; JUNIOR, J. D. G. S.; SÁ, M. A. C.; VILELA, L. BECQUER, T. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 6, p. 873-882, 2007.
- 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, 2009.
- MENDES, S. L.; PADOVAN, P. M. A Estação Biológica de Santa Lúcia, Santa Teresa, Espírito Santo. **Boletim do Museu de Biologia Mello Leitão**, Santa Teresa, v. 11/12, n. série, p. 7-34, 2000.
- PADOVAN, M. P.; PEREIRA, Z. V. Integração lavoura-pecuária-floresta. **A Lavoura**, n. 690, p. 15-18, 2012. Disponível em: <http://sna.agr.br/wp-content/uploads/alav690_convivencia.pdf>. Acesso em 17 Abril 2014.
- PULROLNIK, K.; BARROS, N. F.; SILVA, I. R.; NOVAIS, R. F.; BRANDANI, C. B. Estoques de carbono e nitrogênio em frações lábeis e estáveis da matéria orgânica de solos sob eucalipto, pastagem e cerrado no Vale do Jequitinhonha - MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 5, p. 1125-1136, 2009.
- SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRICIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 11-21. 2008.
- SOARES, E. M. B. **Frações da matéria orgânica e composição molecular de substâncias húmicas de solos sob cultivo de eucalipto em biomas distintos**. 2009. 123p. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- SOUZA, W. J. O.; MELO, W. J. Matéria orgânica em um Latossolo submetido a diferentes sistemas de produção de. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1113-1122, 2003.
- STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: Genesis, composition, reactions**. John Wiley and Sons: New York. 1994. 345p.
- SWIFT, R. S. Organic matter characterization. In: SPARKS, D. L.; PAGE, A. L.; HELMKE, P. A.; LOEPPERT, R. H.; SOLTANPOUR, P. N.; TABATABAI, M. A.; JOHNSTON, C. T.; SUMNER, M. E., ed. **Methods of soil analysis**. Madison: Soil Science Society of America: American Society of Agronomy, 1996. p. 1011-1020.
- TOWNSEND, C. R.; PEREIRA, R. G. P.; COSTA, N. L. **Considerações sobre sistemas de integração lavoura-pecuária na Amazônia**. Porto Velho, RO: Embrapa Rondônia, 2009. 29p.
- VIEIRA, L.L. **Influência de atributos físicos, químicos e microbiológicos na agregação de solos sob diferentes sistemas de uso, em Maria da Fé, MG**. 2010. 61p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal Rural de Itajubá, Itajubá, MG.
- WENDLING, B.; VINHAL-FREITAS, I. C.; OLIVEIRA, R. C.; BABATA, M. M.; BORGES, E. N. Densidade, agregação e porosidade do solo em áreas de conversão do cerrado em floresta de pinus, pastagem e plantio direto. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 1, p. 256-265, 2012.
- YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 19, n. 13, p. 1467-1476, 1988.