



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Ilha Solteira

PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

KARLA NASCIMENTO SENA

**COMPORTAMENTO DO CARBONO ORGÂNICO E DE ATRIBUTOS
QUÍMICOS, FÍSICOS E MICROBIOLÓGICOS DE UM SOLO
ARENOSO EM ÁREA DE CONVERSÃO PASTAGEM - EUCALIPTO**

Ilha Solteira
2016



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Ilha Solteira

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

KARLA NASCIMENTO SENA

**COMPORTAMENTO DO CARBONO ORGÂNICO E DE ATRIBUTOS
QUÍMICOS, FÍSICOS E MICROBIOLÓGICOS DE UM SOLO
ARENOSO EM ÁREA DE CONVERSÃO PASTAGEM - EUCALIPTO**

Dissertação apresentada à Faculdade de
Engenharia - UNESP – Campus de Ilha Solteira,
para obtenção do título de Mestre em
Agronomia.

Especialidade: Sistemas de Produção

Prof.^a. Dr. Kátia Luciene Maltoni

Orientadora

Ilha Solteira
2016

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

S474c Sena, Karla Nascimento.
Comportamento do carbono orgânico e de atributos químicos, físicos e microbiológicos de um solo arenoso em área de conversão pastagem - eucalipto / Karla Nascimento Sena. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2016
73 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Especialidade: Sistemas de Produção, 2016

Orientador: Kátia Luciene Maltoni
Inclui bibliografia

1. Sequestro de carbono. 2. Estabilidade de agregados. 3. Cerrado conservado. 4. Latossolo. 5. Karla Sena.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Ilha Solteira

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Comportamento do carbono orgânico e de atributos químicos, físicos e microbiológicos de um solo arenoso em área de conversão pastagem-eucalipto..

AUTORA: KARLA NASCIMENTO SENA
ORIENTADORA: KATIA LUCIENE MALTONI

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA, área: SISTEMAS DE PRODUÇÃO, pela Comissão Examinadora:


Profa. Dra. KATIA LUCIENE MALTONI
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Prof. Dr. MARCELO ANDREOTTI
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


PROFESSOR ADJUNTO AQUINALDO JOSÉ FREITAS LEAL
Campus de Chapadão do Sul - CPCS / UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL

Ilha Solteira, 03 de março de 2016

Dedico...

Aos meus pais, meu eterno amor!

Agradecimentos

Agradeço a Deus!

À minha família.

À UNESP, Campus de Ilha Solteira.

À CAPES, pela bolsa concedida.

À empresa Fibria, pela autorização para estudo das áreas e apoio nos trabalhos de campo.

À Prof^a Dra. Kátia Luciene Maltoni, pelo apoio, amizade e direcionamento neste caminho.

À família Kuratani, por permitir que eu fizesse parte da mesma e cuidados, que tornaram este caminho mais doce e florido.

Aos amigos do “Laboratório de Pedologia” pela ajuda imensurável, sem a qual não seria possível a realização deste trabalho.

Aos professores do curso e funcionários da Pós-Graduação que contribuíram para minha formação.

Ao Eduardo de Pieri de Prando, pelo companheirismo, apoio e paciência.

À todos, que direta ou indiretamente contribuíram com meu aprendizado.

RESUMO

O solo é considerado, na atualidade, o mais importante reservatório e o mais eficiente estabilizador de carbono orgânico. Por outro lado, a agricultura é considerada a segunda maior emissora de carbono, atrás apenas da emissão gerada por combustíveis fósseis. O carbono orgânico (CO) introduzido nos solos, em sua maior parte via matéria orgânica, tem papel relevante em vários atributos e destacada importância ainda mais em solos arenosos. Dentro deste contexto, o objetivo deste trabalho foi verificar as alterações nos teores e no estoque de CO, a influência deste carbono sobre atributos físicos, químicos e microbiológicos do solo, em áreas de conversão pastagem-eucalipto, de reflorestamento com eucalipto e de cerrado conservado, na região leste do Estado de Mato Grosso do Sul. As coletas de solo foram realizadas nos meses de agosto e setembro de 2014, em campo, nas camadas de 0,0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,30 m. Em função do objetivo proposto foram realizadas análises de fertilidade do solo (P, MO, pH, K, Ca, Mg, H+Al, Al, S, B, Cu, Fe, Mn, e Zn), carbono orgânico total e o cálculo do Estoque de Carbono (EstC). Avaliaram-se também os atributos estabilidade de agregados, densidade (Ds), macro e microporosidade, porosidade total (PT), velocidade de infiltração da água no solo, infiltração acumulada de água, resistência mecânica do solo à penetração (RP), carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal (C-CO₂) e quociente metabólico (qCO₂) do solo. O delineamento experimental utilizado foi em blocos inteiramente casualizados, composto por 4 blocos, com 9 repetições por bloco, totalizando 36 pontos amostrais por sistema de manejo a ser avaliado. Neste caso foram comparadas, uma área de pastagem degradada (PAST), uma área de conversão pastagem degradada-eucalipto, ocorrida há 2 anos (EU2), uma área de conversão pastagem degradada-reflorestamento com eucalipto (EU15), e uma área sob cerrado conservado (CC), considerada como controle. Ao final observou-se que a conversão do CC em áreas de cultivo comercial acelera o processo de perda do CO e da qualidade física do solo, sendo a pastagem responsável pela maior degradação do solo, apresentando resistência do solo à penetração, em nível de restrição ao desenvolvimento da vegetação. Nestes solos, por sua textura arenosa, a análise da estabilidade de agregados necessita ser acompanhada de uma avaliação morfológica, pois este tipo de solo pode apresentar grãos de areia isolados com tamanho de macroagregados. Após 15 anos de introdução do eucalipto em área de pastagem, observam-se sinais de recuperação de alguns atributos físicos do solo, como redução na densidade e aumento na porosidade, o que não ocorre para PAST e EU2. O CC apresenta maiores conteúdos de MO, com diferenças significativas em relação aos Sistemas de Manejo (SM) em avaliação, apenas na profundidade

de 0,00-0,05m, reforçando a importância da deposição de material vegetal à superfície. O comportamento da fertilidade do solo, entre os sistemas de manejo e CC, foi semelhante quanto ao teor de MO, com redução do teor de nutriente em profundidade, apontando a relação da matéria orgânica com a fertilidade e sua importância em suprir o solo, mostrando que a textura arenosa apresenta reduzida capacidade para retenção de cátions, conseqüentemente apresenta alto potencial de lixiviação. O estoque de carbono, também, diminui em profundidade em todos sistemas avaliados. No entanto, o CO na profundidade 0,10 a 0,30 m não apresentou influência do uso imputado ao solo, sinalizando desta forma a possibilidade de sua permanência no solo por maiores períodos. Os sistemas de uso do solo avaliados reduziram o CO e o EctC, indicando degradação do solo quando comparado ao CC. O CBM, C-CO₂ liberado e qCO₂ foram influenciados pelos sistemas de manejo. A liberação de C-CO₂, decorrente da atividade microbiana do solo indica o CC e PAST como os SM de melhor desempenho, comprovando a influência da cobertura vegetal, do sistema radicular e da adição de dejetos bovinos sobre a atividade dos microrganismos. O estudo sugere que a integração silvopastoril seja adotada nestas áreas de baixa fertilidade para preservar a qualidade dos solos.

Palavras-chave: estabilidade de agregados, sequestro de carbono, cerrado conservado, Latossolo.

ABSTRACT

The soil is, in nowadays, considered the most important carbon pool and effective carbon stabilizer. On the other hand, the agriculture is considered the second largest carbon emitting, after fossil fuels. This organic carbon (CO) introduced into the soil, mainly via organic matter, has an important role in soil formation and properties, besides detached importance for sandy soil. This study aimed to verify changes in the organic carbon, amounts and storage, the influence of this on some soil physical properties, on areas of conversion pasture-eucalyptus (EU2), pasture-eucalyptus reforestation (EU15) compared to pasture (PAST) and natural vegetation (CC), in the Mato Grosso do Sul State, eastern region. The soil was sampled with four replications, in the depths of 0.0-0.05, 0.05-0.10 and 0.10 - 0.30 m. Due to the proposed objective it was carried out soil fertility analysis (P, MO, pH, K, Ca, Mg, H+Al, Al, S, B, Cu, Fe, Mn and Zn), total organic carbon, made if the calculation of carbon stock (EstC), it was determined aggregate stability, bulk density (BD), macro and microporosity, total porosity (TP), water infiltration rate in the soil, accumulated water infiltration , mechanical resistance soil penetration (RP) , microbial biomass carbon (MBC), basal respiration (C-CO₂) and metabolic quotient (*q*CO₂). The experimental design was a randomized block consisting of 4 blocks, with nine replicates per block, totaling 36 sampling points per management system to be assessed in this case a degraded pasture area (PAST), a grassland conversion of degraded area - eucalypto, which occurred two years before (EU2), a degraded pasture conversion, reforestation area with eucalyptus (EU15), and an area under kept closed (CC) considered as control. At the end it was found that the conversion of DC in commercial farming areas accelerates CO loss process and the physical quality of the soil, with the pasture responsible for the higher degradation, because it presents the soil resistance behavior of the penetration, for example, restrictions on the development of vegetation. These soils, in sandy texture, analysis of aggregate stability needs to be accompanied by a morphological evaluation, as this type of soil can provide sand grains isolated with macroaggregates size. After 15 years of introduction of eucalyptus in pasture area, they observe signs of recovery of some soil physical properties, such as reduction in density and increased porosity, which does not occur to PAST and EU2. The CC had higher OM content, with significant differences from Management Systems (MS) evaluation, only the depth of 0,00-0,05m , reinforcing the importance of the deposition of plant material on the surface . The soil fertility behavior among management systems and the CC, was similar to the OM, with a reduction in depth,

confirming the relationship of organic matter with fertility, its importance in supplying the soil and showed that the sandy texture, in fact, has reduced capacity for cation retention, consequently has a high potential for leaching. The carbon stock, as expected, decreased in depth in all systems studied. However CO found in depth from 0,10 to 0,30 m did not influence attributed to the use soil, thereby indicating the possibility of residence of the soil for longer periods of time, into the carbon sequestration field is indeed this period extend for tens or hundreds of years. The land use systems have reduced both the CO and the EctC indicating soil degradation when compared to CC. The CBM, released C-CO₂ and qCO₂ were influenced by SM. The release of C- CO₂, due to the soil microbial activity points to the CC and PAST treatments as better performance of them, proving that management systems, vegetation cover, root system and cattle manure has influenced the activity of microorganisms.

Keywords: Aggregates stability. Carbon stock. Conserved cerrado. Oxisol.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Imagem da localização do experimento em escala nacional.....	28
Figura 2. Imagem da localização dos sistemas de manejo.	29
Figura 3. Modelo da malha alocada em campo, para dar suporte às coletas.....	30
Figura 4. Gráficos de (a) velocidade de infiltração e (b) Infiltração acumulada (mm/h).....	42
Figura 5. Resistência mecânica do solo à penetração (MPa).	43
Figura 6. Imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) dos agregados com diâmetro 0,50 - 1,00 mm, na profundidade de 0,0 -0,05 m, nos tratamentos: a- CC 1,00 - 0,50 mm; b- EU15 1,00 - 0,50 mm).	47
Figura 7. Imagens obtidas em microscopia eletrônica de varredura (MEV) dos agregados com diâmetro 0,50 - 1,00 mm e 0,05 - 0,10 mm, na profundidade de 0,0 -0,05 m, nos diferentes tratamentos (a- CC: 0,50 -1,00 mm; b- CC: 0,05 - 0,10 mm; c- EU15: 0,50 - 1,00 mm;)	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Teores médios de areia, silte e argila em relação aos sistemas de uso e às profundidades.	31
Tabela 2. Valores médios de P, MO, pH, K ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , H+Al, Al ³⁺ , CTC, S, m%, B, Cu, Fe, Mn e Zn, valores de F e coeficiente de variação (CV), por Sistemas de Manejo (SM) e profundidade (Prof) do solo das áreas em avaliação, Três Lagoas (MS).	35
Tabela 3. Desdobramento da interação Sistemas de Manejo (SM) e Profundidade (Prof) para P, MO, pH, K, Mg, H Al, S, m%, B, Cu, Fe, Mn e Zn.	36
Tabela 4. Valores médios para densidade do solo, macro e microporos, porosidade total (PT), valores de F e coeficiente de variação (CV), por sistemas de manejo (SM) e profundidade (Prof).	40
Tabela 5. Desdobramento da interação entre Sistemas de manejo (SM) x Profundidades (Prof), para Macroporosidade e Densidade do solo.	40
Tabela 6. Valores de F e Coeficiente de Variação (CV), para distribuição dos agregados (%), carbono orgânico (CO), e Estoque de carbono (EstC) em relação aos sistemas de manejo e profundidades (Prof).	45
Tabela 7. Valores médios de areia (%) presente nos agregados, por sistemas de uso, para as diferentes profundidades e diâmetros (mm).	46
Tabela 8. Desdobramento da interação entre Sistemas de manejo x Profundidade (Prof), para carbono orgânico (CO), por profundidade e sistema de manejo.	47
Tabela 9. Estoque de Carbono Orgânico (EstC) e desdobramento de estoque de carbono orgânico (EstC), por sistema de manejo do solo, bem como Valores de F em três profundidades.	51
Tabela 10. Carbono da Biomassa Microbiana (CBM), Carbono liberado na respiração (C-CO ₂ -liberado) e Quociente metabólico (qCO ₂) por sistema de manejo do solo (SM), por profundidade (Prof), e Valores de F.	53
Tabela 11. Desdobramento da interação Sistemas de Manejo (SM) e Profundidade (Prof) para Carbono liberado na respiração (C-CO ₂ -liberado).	54

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1 Histórico dos plantios de Eucalipto no Brasil.....	14
2.2 Efeito dos plantios florestais sobre as propriedades do solo.....	15
2.3 Química do solo	16
2.4 Carbono no solo e estoque de carbono	17
2.5 Física do solo	19
2.6 Microbiologia do solo.....	25
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	28
3.1 Localização e descrição das áreas.....	28
3.2 Delineamento experimental	30
3.3 Avaliações.....	30
3.3.1 Atributos químicos do solo	30
3.3.2 Atributos físicos do solo.....	31
3.3.3 Atributos microbiológicos do solo	33
3.3.5 Análise estatística.....	34
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1 Atributos Químicos do solo	35
4.2 Atributos Físicos e Carbono Orgânico do solo.....	39
4.3 Atributos Microbiológicos do solo	52
5 CONCLUSÃO.....	57
REFERÊNCIAS	58

1 INTRODUÇÃO

O setor florestal vem ganhando destaque no cenário da economia brasileira, principalmente com o cultivo do eucalipto, que pode ser empregado na indústria de celulose e papel, moveleira, para combustível, moirões e postes, entre outros. Dos 6,6 milhões de hectares de florestas plantadas no Brasil, 5,1 milhões são com eucalipto (ABRAF, 2013). Diante deste cenário e do contínuo crescimento e expansão da atividade, se fazem necessários estudos relacionados aos impactos ocorridos no solo das áreas cultivadas com eucalipto, para garantir produção e sustentabilidade das florestas e do complexo sistema solo.

As áreas florestais, além de sua importância no setor econômico, têm relevante papel no ciclo global do carbono. A silvicultura, associada a outros sistemas agrícolas, vem sendo apontada como uma das práticas mais importantes no sequestro de carbono, devido à redução no revolvimento do solo, no desmatamento, queimadas, operações mecanizadas, entre outros. Sem contar que inúmeras vezes as áreas destinadas aos plantios florestais são aquelas consideradas de baixa produtividade agrícola ou já degradadas.

O carbono quando incorporado ao solo desempenha importante papel na formação e manutenção de propriedades dos mesmos. O solo, por sua vez, contém mais carbono do que as quantidades totais presentes na vegetação e na atmosfera, apresentando-se portanto, como um significativo reservatório de carbono, além de eficiente estabilizador deste carbono (OADES, 1995; SWIFT, 2001; SCHMIDT et al., 2011; GUAN et al., 2015), e assim, contribuindo para a mitigação do efeito estufa.

O solo sob cobertura vegetal natural quando convertido em áreas agricultáveis, passa por mudanças drásticas, as quais podem interferir em sua qualidade física, na perda de matéria orgânica, no comprometimento de sua estabilidade estrutural, além de muitos outros efeitos. Os impactos do uso e manejo do solo sobre sua qualidade física têm sido quantificados por meio de atributos físicos relacionadas à sua estabilidade estrutural, como por exemplo, a estabilidade de agregados, e esta tem grande importância e participação no processo de proteção física da matéria orgânica à biodegradação. Portanto, a preservação desta matéria orgânica no solo é muito importante, pois contribui para manutenção da estruturação, da fertilidade e da sustentabilidade dos solos em sistemas produtivos.

A ciclagem de nutrientes nos povoamentos florestais é de grande importância e ocorre por meio da absorção de nutrientes pelas plantas, com seu retorno ao solo via serapilheira, que será transformada e incorporada ao solo na forma de matéria orgânica, mineralizada, e os nutrientes liberados serão novamente liberados para absorção.

Neste aspecto, a adoção de sistemas conservacionistas de manejo do solo tem-se apresentado como medida necessária e que deve evitar a redução do teor de matéria orgânica, o que também contribuirá para redução ou manutenção da densidade do solo, aumento no aporte de matéria orgânica na camada superficial, melhorando a agregação do solo, o que diminui a exposição do C e permite sua permanência dentro dos agregados do solo, aumentando a porosidade total, contribuindo para melhorar a atividade microbiana, entre outros benefícios.

No contexto de produção florestal esses aspectos são ainda mais relevantes, pois no Brasil, desde os primeiros plantios florestais, têm se destinado à atividade silvicultural os solos menos férteis, normalmente de grande susceptibilidade à erosão, e muitas vezes degradados, e conseqüentemente, de menor valor econômico para aquisição, aliado à suposições técnicas de que as essências florestais apresentam baixa exigência nutricional. Isto é, inferiores as das culturas agrícolas ou até pastagem, o que permite o bom desenvolvimento do eucalipto mesmo em solos pouco férteis.

Os questionamentos a respeito dos efeitos dos povoamentos florestais de eucalipto sobre atributos do solo e do grau de limitação oferecido por solos arenosos na região leste do Mato Grosso do Sul, foram os fatores que nortearam a realização do presente estudo, com o objetivo de avaliar as alterações nos teores e no estoque de carbono orgânico do solo e em atributos físicos, químicos e microbiológicos, particularmente onde ocorreu a conversão pastagem-eucalipto em Latossolos Vermelhos Distróficos, de textura arenosa.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Histórico dos plantios de Eucalipto no Brasil

Os primeiros estudos sobre o gênero *Eucalyptus* no Brasil, realizados por Navarro de Andrade, na década de sessenta, e estavam relacionados à seleção de espécies e espaçamentos de plantio (SAMPAIO, 1975) e foram fundamentais para a expansão da silvicultura com eucalipto no Brasil (ROSA, 2010).

Em 1968, o plantio de eucalipto teve início no Rio Grande do Sul, por Frederico de Albuquerque, para fins ornamentais e como proteção natural (quebra-vento). O uso comercial do eucalipto no país surgiu por volta de 1960, para suprir a demanda de lenha para locomotivas e para dormentes dos trilhos das ferrovias (HASSE, 2006).

A partir desse momento, os plantios de *Eucalyptus* ganharam espaço em outras regiões como o centro e sul do País, com sua produção se intensificando a partir de 1968, com políticas de incentivo fiscal ao reflorestamento, principalmente para as indústrias siderúrgicas e de papel e celulose (HASSE, 2006).

O aumento na demanda por madeira como matéria-prima e as rápidas mudanças no uso e aumento da demanda, resultaram em incrementos nas áreas com florestas plantadas com eucalipto, colocando-o na posição de gênero mais plantado no mundo (VALE, 2004).

Segundo dados do IBGE (2015), hoje o estado de Mato Grosso do Sul é responsável por 12,75% da produção nacional de eucalipto, entretanto durante o período de implantação das florestas plantadas do território sul-mato-grossense, o componente florestal era tido como um empecilho mesmo diante de pastagens degradadas, pois o foco regional era a produção de gado (SILVA, 2003). Atualmente, as florestas plantadas estão assumindo espaços que antes era das pastagens, observando-se então a conversão pastagem-eucalipto, conforme exemplificado acima, e alterando o cenário da região.

Nas últimas duas décadas muitos estudos têm sido realizados com o intuito de avaliar os efeitos causados pelas práticas de manejo do solo e dos cultivos sobre a produção agrícola, inclusive a silvicultura (ROSA, 2010; BRUN, 2008). Entretanto, o impacto dos plantios florestais, com espécies de rápido crescimento, sobre o solo depende de inúmeros fatores como o local onde os plantios estão inseridos, o espaçamento de plantio, a textura e o preparo do solo, entre outros (GONÇALVES; STAPE, 2002). Estudos detalhados precisam ser conduzidos em todas as áreas onde existem ou tem-se a intenção de instalar o plantio de

eucalipto, pois seu rápido crescimento inicial pode causar mudanças intensas nos atributos do solo e com isto alterar a dinâmica do carbono orgânico e da água.

2.2 Efeito dos plantios florestais sobre as propriedades do solo

No Brasil, as plantações florestais com o gênero *Eucalyptus* vêm sendo alvo de questionamentos e estudos sobre seus efeitos no ambiente natural, principalmente no que faz referência ao solo. Alguns estudos referem-se às alterações causadas pela decomposição da serapilheira e pelo crescente consumo de água ocasionado pelos povoamentos florestais, fator enfatizado ao longo do tempo (PRITCHETT; FISHER, 1987; LIMA, 1996; ROSA, 2010; BRUN, 2008) e que modifica a dinâmica do complexo sistema solo.

Os atributos físicos do solo são considerados sensíveis ao manejo, pois geram alterações, por exemplo, na sua estrutura, e como o solo é um sistema dinâmico, outros atributos também podem ser alterados. (CONCEIÇÃO et al., 2005)

A simples deposição de restos florestais sobre o solo pode causar mudanças nos seus atributos, especialmente pelo grau de proteção oferecido contra a erosão, pela capacidade do sistema radicular em penetrar no solo e extrair água e nutrientes e pela quantidade e qualidade da matéria orgânica produzida e depositada à superfície, que é gradualmente incorporada, podendo aumentar o estoque de carbono orgânico (BRUN, 2008).

Atividades silviculturais quando bem conduzidas, podem permitir um maior aporte de matéria orgânica ao solo, assim as práticas de manejo que permitem o aumento da matéria orgânica são consideradas importantes, pois, além de inserir carbono no sistema, beneficiam as propriedades físicas do solo (ROSA, 2010).

Além disso, os sistemas de cultivo que revolvem o solo estimulam a atividade microbológica, acelerando o processo de mineralização da matéria orgânica, aumentando a taxa de respiração, que devolve CO₂ à atmosfera (GAMA-RODRIGUES et al., 2005).

Neste sentido, as plantações de eucalipto podem melhorar as condições físicas do solo, pois o aporte de matéria orgânica possibilita aumentar a atividade microbológica, melhorando simultaneamente a estrutura, a aeração, a capacidade de armazenamento e a infiltração da água (LIMA, 1996), incorporando também benefícios às propriedades químicas do solo, uma vez que a matéria orgânica contribui com a maior retenção e quantidade de cátions, situação particularmente importante, em solos com baixa CTC, como é o caso dos solos arenosos, da região do Cerrado.

A maioria das espécies de *eucalyptus* cresce naturalmente em solos de baixa fertilidade, porém apresentam respostas rápidas em índices como DAP (diâmetro altura do peito), altura de planta, entre outros, em condições mais férteis e, especialmente, para teores mais altos de nitrogênio e fósforo (TURNBULL; PRYOR, 1984).

2.3 Química do solo

Em plantios de eucalipto, a quantidade, a distribuição relativa e a eficiência de utilização de nutrientes dependem da espécie, da idade, do manejo e das condições edafoclimáticas da região (GAMA-RODRIGUES; BARROS, 2002). A intensificação do manejo florestal e o aumento dos plantios florestais, principalmente com espécies exóticas, têm evidenciado a importância dos atributos químicos do solo no crescimento das árvores (ROSA, 2010).

O manejo nutricional de plantios florestais demanda a quantificação dos estoques e dos fluxos de nutrientes no ecossistema (ZAIA; GAMA-RODRIGUES, 2004). A dinâmica da serapilheira, representada pela entrada de folhas e galhos via deposição e saída via sua decomposição/mineralização das mesmas, é fundamental à manutenção da ciclagem de nutrientes (BALIEIRO et al., 2004), e evidenciado pelas florestas que se mantêm em áreas com solos de baixa fertilidade (SCHUMACHER et al., 2003).

Gama-Rodrigues e Barros (2002) e Miranda et al. (2002), notaram que a quantidade de nutrientes a ser reposta no solo via fertilizante é menor se, apenas a madeira do eucalipto for retirada, isto é, se a serapilheira for mantida, se folhas e pequenos ramos também permanecerem na superfície do solo.

A permanência da serapilheira e de outros resíduos sobre o solo pode modificar os índices de acidez, devido ao conteúdo de bases presentes (PRITCHETT; FISHER, 1987). Assim, o pH do solo pode ser um importante indicador da sua condição química, pois interfere na disponibilização de vários elementos químicos essenciais ao desenvolvimento vegetal (BRANDÃO; LIMA, 2002).

Freitas (2000) encontrou pH baixo em um povoamento de *Eucalyptus grandis*, com nove anos de idade, no município de Alegrete (RS), com o pH diminuindo em profundidade e mostrando a importância do componente orgânico para sua manutenção que à superfície (0,00 a 0,10 m) apresentava pH = 4,9, de 0,10 a 0,20 m, pH = 4,6 e de 0,20 a 0,50 m, pH = 4,5.

O solo, embora possa parecer uniforme, apresenta variabilidade em seus atributos químicos, físicos e biológicos, (FARIA et al., 2009). Esta variabilidade pode ser ainda maior

devido a ações antrópicas, como o manejo da fertilidade do solo envolvendo a aplicação de fertilizantes e corretivos (SCHLINDWEIN; ANGHINONI, 2000).

A matéria orgânica do solo interfere na fertilização, pois as recomendações de calagem e adubação, como por exemplo, para o nutriente nitrogênio, ocorrem em função dos teores de matéria orgânica e quanto maior esses teores, menor será a dose de fertilizante aplicada (GONÇALVES; BENEDETTI, 2005). Áreas cultivadas com florestas plantadas costumam apresentar maior conteúdo de matéria orgânica que solos agrícolas, devido a quantidade de material depositado e à menor taxa de mineralização da matéria orgânica observada na floresta (MIRANDA, 2005), o que está relacionado à menor temperatura no ambiente florestal, em relação ao agrícola, com consequente redução da taxa de mineralização.

Teores de matéria orgânica em plantios de eucalipto, em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico latossólico, na profundidade de 0,00-0,10 m, da ordem de 40,9; 44,5 e 38,6 g dm⁻³, com idades de 14, 16 e 18 anos, respectivamente, e na profundidade de 0,10-0,20 m com 31,4; 26,9 e 24,3 g dm⁻³, demonstram a pequena variação ao longo do tempo e tendência a redução em profundidade (MIRANDA, 2005).

Mudanças na cobertura vegetal original, como por exemplo, floresta-capoeira-pastagem, resultam na redução dos teores de K, Ca, Mg, matéria orgânica, P, soma de bases, saturação por bases e capacidade de troca catiônica do solo (SILVA et al., 2007).

A substituição do cerrado por plantios de eucalipto podem resultar em decréscimo nos estoques de carbono, por favorecer processos erosivos, acelerar a decomposição da matéria orgânica do solo, reduzir o aporte de material vegetal e ainda modificar a qualidade destes (LIMA et al., 2008). Entretanto, diversos estudos sobre o plantio de eucalipto têm mostrado resultado divergente, indicando que em substituição à vegetação nativa tem aumentado os estoques de C orgânico total (COT) devido ao manejo adotado (RANGEL; SILVA, 2007), porém, em outros trabalhos, esses estoques têm reduzido com a substituição (ZINN et al., 2005), alimentando dúvidas em relação a este comportamento.

2.4 Carbono no solo e estoque de carbono

O carbono orgânico desempenha importante papel na formação e nos atributos dos solos, e é o principal componente do ciclo do carbono. Os solos contêm mais carbono do que as quantidades totais presentes na vegetação e na atmosfera, apresentando-se, portanto, como importante reservatório e eficiente estabilizador deste elemento (OADES, 1995; SWIFT, 2001; SCHMIDT et al., 2011).

De acordo com Houghton e Goodale (2004), o sequestro de carbono pelos solos é uma importante estratégia opostora ao aumento nas concentrações atmosféricas de CO₂, e implica na transferência de CO₂ atmosférico para a matéria orgânica do solo.

Os principais controladores dos conteúdos de carbono dos solos são temperatura e precipitação pluvial, pois controlam a quantidade de carbono fixado pela fotossíntese e a taxa de decomposição e mineralização dos compostos de carbono orgânico (BRANDÃO, 2012). Cabe citar que parte deste carbono orgânico é facilmente mineralizado, enquanto uma parte é reconhecida por degradar-se mais lentamente, permanecendo no solo por centenas ou milhares de anos (OADES, 1995; SANTOS et al., 2011).

A quantidade de carbono introduzida no solo é importante, mas a forma física, a distribuição no perfil do solo, a posição dentro da matriz e a composição química da matéria orgânica influenciam as taxas e caminhos de sua decomposição. Sollins, Homann e Caldwell (1996), propõem três processos para explicar a estabilização ou o maior tempo de residência do carbono orgânico no solo, são eles: 1- A recalcitrância química, estabilização da matéria orgânica devido a suas propriedades estruturais; 2- A proteção física da matéria orgânica, proporcionada por estar alojada dentro de agregados ou em microporos do solo, reduzindo as ações de decomposição promovidas por micro-organismos; e 3- A interação dos compostos de carbono com a fração mineral dos solos.

O estoque de carbono orgânico no solo apresenta rápida redução quando o solo é submetido a sistemas de preparo que envolvem intenso revolvimento, devido entre outros, à decomposição da matéria orgânica pela oxidação microbiana (SILVA; LEMAINSKI; RESCK, 1994).

De acordo com Resck et al. (1997), o solo quando submetido ao revolvimento, apresenta comprometimento da macroagregação, porosidade e infiltração de água. Uma vez que a agregação do solo está relacionada à proteção física de frações lábeis da matéria orgânica à biodegradação (BALESDENT; CHENU; BALABANE, 2000), sua preservação é crucial, pois melhora a estruturação do solo, a sua fertilidade e contribui para assegurar a sustentabilidade dos ecossistemas agrícolas (PAUSTIAN et al., 1998; BALESDENT; CHENU; BALABANE, 2000), portanto, entende-se que o revolvimento não é uma boa estratégia de manejo.

Corroborando estas afirmativas, vários trabalhos têm descrito situações de incrementos na agregação do solo e nos teores de carbono orgânico total, quando se usa o plantio direto, frente ao plantio convencional, principalmente próximo a superfície (SIX; ELLIOTT;

PAUSTIAN, 1999; PAUSTIAN et al., 2000), tanto em situações de clima tropical quanto temperado, devido a supressão quase total do revolvimento do solo.

O modelo hierárquico conceitual de agregação do solo, apresentado por Tisdall e Oades (1982), complementado por Six et al. (2000) e Six, Elliott e Paustian (1999), sugere que a matéria orgânica que liga os microagregados em macroagregados é a maior fonte de perda de matéria orgânica do solo, conseqüentemente, de carbono orgânico, em solos cultivados, devido a sua movimentação.

Acrescenta-se a contribuição do carbono derivado das raízes, que é retido ao solo de forma mais eficiente do que o das folhas e demais resíduos adicionados à superfície, por ser um material mais tenro em relação aos outros e por estar inserido no sistema solo (RASSE; RUMPEL; DIGNAC, 2005; BALESSENT; BALABANE, 1996). Kramer et al. (2010), após análises isotópicas e comparação de biomarcadores de raízes e folhas confirmaram a predominância no solo de estruturas moleculares derivadas de raízes, o que coloca as gramíneas em destaque em relação ao aporte de matéria orgânica em maiores profundidades já que estes estão em contato direto com as camadas subsuperficiais.

Ao mesmo tempo, a entrada de raízes frescas, associada à atividade microbiana, conduzem a decomposição mais rápida da matéria orgânica (FONTANA et al., 2001; KUZUYAKOV, 2010), o que SCHMIDT et al. (2011) indicam como importante na dinâmica do carbono no solo, mas não como influenciador dos estoques de carbono.

O conjunto, raízes e micro-organismos, contribui para adição de matéria orgânica ao solo, e auxilia no processo de agregação, que é definido ou fortemente influenciado pelos óxidos presentes na fração argila, que protegem a matéria orgânica da decomposição, aumentando o estoque de carbono no solo (FERNANDES et al., 2012).

2.5 Física do solo

A qualidade do solo está diretamente relacionada aos atributos físicos e, portanto, os manejos que permitem maior infiltração, retenção e disponibilização de água para as plantas, melhoram as trocas de calor e de gases com a atmosfera e assim incrementam o livre crescimento das raízes (REICHERT; REINERT; BRAIDA, 2003).

Os atributos físicos do solo merecem destaque, pois vêm sendo utilizados para avaliar as mudanças causadas no solo pelos diferentes sistemas de manejo e podem ser considerados como indicadores da sua qualidade (NEVES et al., 2007). Neste contexto, densidade, porosidade, taxa de infiltração de água e resistência à penetração têm sido muito utilizados na

avaliação da compactação do solo e da eficiência dos sistemas de manejo utilizados nas áreas agrícolas (FLORES et al., 2007).

A estrutura física do solo, a qual analisa o arranjo entre sólidos e vazios é um dos atributos mais utilizados na avaliação de sua qualidade e consiste no arranjo das partículas de areia, silte e argila em formações compostas, grumos ou agregados, os quais apresentam características específicas (JORGE, 1985) e definem a estrutura do solo.

A estrutura do solo pode, por sua vez, influenciar o crescimento das plantas de diferentes maneiras, e mesmo não afetando diretamente o crescimento pode, em alguns casos, interferir na produção (GAVANDE, 1976). Esta estrutura depende da textura do solo, do aporte de matéria orgânica, do tipo de argila presente, entre outros fatores (VEZZANI; MIELNICZUK, 2011; SILVA et al., 2014).

A textura do solo, como se sabe, informa a proporção de partículas de tamanho areia, silte, e argila presentes na amostra, constituindo-se em fator muito importante, por tratar-se de um atributo que é pouco modificado pelo uso (GAVANDE, 1976), mas que interfere fortemente nas propriedades do solo e conseqüentemente no comportamento da vegetação.

Gerhardt (1999) ao avaliar a influência dos fatores físicos do solo sobre o crescimento em altura de *Araucaria angustifolia* em Cambissolo Húmico no município de Canela (RS), obteve correlações negativas entre o teor de argila e a altura dominante das plantas, nas profundidades de 0,00-0,10 m e de 0,10-0,20 m e correlações positivas para a relação areia fina e areia grossa, a 0,10 m de profundidade.

A formação de agregados e a estabilidade destes, no solo, são influenciados pela textura. Segundo dados da literatura, maiores teores de argila favorecem a agregação (SILVA et al., 2014; VEZZANI; MIELNICZUK, 2011). Tal fato deve-se à maior quantidade de argila e maior aproximação entre as partículas de areia, silte e argila do solo. Por outro lado, num perfil, horizontes arenosos dificultam a proteção física da matéria orgânica, a formação de agregados (SANTOS et al., 2011) e em alguns casos apresentam dificuldade de manutenção desta fração orgânica no solo, o que traz como consequência menor retenção de água, o que produz vários desdobramentos, chegando a interferir, em determinadas situações, inclusive na produtividade das culturas.

A porosidade total do solo é definida como sendo a porção do volume não ocupada pelas partículas sólidas, dada em $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ (KIEHL, 1979), é considerada ideal para o crescimento de plantas quando acima de $0,50 \text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ou 50% do volume total. Dessa fazem parte a microporosidade, responsável pela retenção da água no solo, e que varia entre $0,250$ e $0,330 \text{m}^3 \text{m}^{-3}$, a macroporosidade, representada pelos poros responsáveis pela drenagem e

aeração do solo, que varia de 0,170 a 0,250 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, e quando inferior a 0,100 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ pode interferir no desenvolvimento das raízes e, conseqüentemente, compromete a produtividade agrícola.

A porosidade do solo interfere na aeração, condução e retenção de água, na resistência à penetração e na ramificação de raízes, podendo interferir significativamente no aproveitamento e captação da água e dos nutrientes disponíveis para as plantas (RIBEIRO et al., 2007).

A porosidade total apresenta estreita relação com a compactação e a resistência do solo à penetração, pois, uma vez reduzida, aumenta a densidade (MERCADANTE; URIBE-OPAZO; SOUZA, 2003; MONTANARI et al., 2010).

Em profundidade, a redução da porosidade do solo é natural, mas este comportamento depende também da textura, como observou Montanari et al.(2010), para solos arenosos (0,350-0,500 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) e argilosos (0,400-0,600 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), podendo o solo apresentar, a depender da textura, uma porosidade total mínima de 0,300 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ e máxima de 0,800 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ (RESENDE et al., 2002).

Os solos arenosos são geralmente bem arejados e apresentam drenagem rápida, o que lhes confere baixa capacidade de retenção de água. Entretanto, os argilosos apresentam elevada capacidade de retenção de água, resultante dos maiores valores da microporosidade e da porosidade total, podendo apresentar problemas de aeração decorrentes dos baixos valores de macroporosidade (GONÇALVES; STAPE, 2002).

A densidade do solo é um atributo que mede a massa sólida por volume e é alterada pelos sistemas de cultivo, pois a mecanização, por exemplo, pode alterar a estrutura do solo e conseqüentemente o seu espaço poroso (KLEIN, 2008). Assim, a densidade do solo vem sendo considerada como um atributo avaliador da sua qualidade estrutural, sendo muito utilizada como indicadora, uma vez que alterações nos seus valores refletem modificações na estrutura do solo, devido à estreita relação que apresenta com outros atributos físicos, tais como porosidade total, macroporosidade, microporosidade, permeabilidade, condutividade hidráulica e resistência do solo à penetração, os quais podem interferir no desenvolvimento da planta (KIEHL, 1979; CARVALHO; FIGUEIREDO; COSTA, 1999; MERCANTE; URIBE-OPAZO; SOUZA, 2000).

Aumentos na densidade do solo podem ocorrer naturalmente com a profundidade, Suzuki, (2008), avaliando florestas plantadas de eucalipto com 4,5 e 20 anos de idade e pastagem em um Argissolo Vermelho distrófico no município de Butiá-RS, verificou valores de densidade variando de 1,04 a 1,39 Mg m^{-3} de 0,00-0,05 m e 0,40-0,60 m, respectivamente,

em floresta de eucalipto com 20 anos, e de 1,55 a 1,35 Mg m⁻³ para a floresta de 4,5 anos a 0,0-0,05 e 0,60-1,00 m de profundidade, respectivamente. Para pastagem, os autores observaram variação de 1,46 a 1,33 Mg m⁻³ para as camadas de 0,0-0,05 e 0,20-0,40 m, respectivamente, e atribuíram as diferenças à variação da textura entre as profundidades e áreas avaliadas.

Em sistemas florestais, incrementos na densidade, ocorridos em subsuperfície podem estar relacionados ao tempo e ao sistema de utilização da área, a arquitetura do sistema radicular, a pouca cobertura do solo durante o período inicial de crescimento das plantas e às condições de umidade do solo no preparo e plantio das mudas (COSTA et al., 2003).

Plantios de eucalipto e pinus, em relação à vegetação nativa, promoveram aumentos na densidade, microporosidade e redução na macroporosidade da camada superficial do solo (SILVA et al., 2009). Estas alterações são atribuídas ao manejo, particularmente ao tráfego de máquinas durante atividades de manutenção, as quais acabam compactando o solo, enquanto sob vegetação nativa, sem intervenções, estes atributos permaneceram inalterados.

Alem disso, incrementos naturais na densidade do solo ocorrem em profundidade e estão relacionados à redução no conteúdo de matéria orgânica (STRECK et al., 2004). Valores gerais desse atributo foram descritos indicando variações entre 1,40 e 1,80 kg dm⁻³, porém para solos de textura argilosa, variam de 1,00 a 1,25 kg dm⁻³, sendo valores acima de 1,55 kg dm⁻³ considerados restritivos ao crescimento radicular (KIEHL, 1979).

A agregação do solo está diretamente relacionada ao sistema de manejo e ao uso, sendo um atributo que tem relação direta com o teor de matéria orgânica, o sistema radicular da cobertura vegetal e conseqüentemente com o teor de carbono (FERNANDES et al., 2012).

Os plantios florestais com eucalipto têm potencial para melhorar alguns atributos do solo (LIMA, 1996), particularmente os que apresentam dependência da matéria orgânica e da atividade microbológica, devido à deposição de biomassa (PEGORARO et al., 2011). Como consequência desta relação, plantios com espécies do gênero *Eucaliptus* são responsáveis por promover maior macroagregação no solo, em comparação com áreas agrícolas e outras espécies florestais (ROSA, 2010).

Os sistemas de uso e manejo do solo influenciam a intensidade dos fluxos e a dinâmica da matéria e da energia neste sistema, gerando diferentes graus de organização dos agregados (SALTON et al., 2008). Os sistemas de manejo envolvendo pastagens apresentam, na camada de 0,00 a 0,05 m, agregados grandes (classe > 4,76 mm), em relação aos sistemas agrícolas, indicando a existência de efeito do sistema radicular da pastagem sobre o solo no processo de formação dos macroagregados.

O tamanho, bem como a distribuição dos agregados no solo tem grande importância, pois de acordo com Rosa (2010), os agregados de tamanho mediano são melhores indicadores da qualidade do solo quando comparado aos agregados muito pequenos, que possuem menor capacidade de retenção de água. Segundo Alcântara Neto et al. (2011), o revolvimento do solo para o plantio do eucalipto na região do cerrado causa a quebra dos agregados e expõe a matéria orgânica, a qual estava fisicamente protegida da atuação microbiana, aumentando a aeração e contribuindo para uma rápida decomposição, especialmente das formas mais prontamente disponíveis ou lábeis, como o C da matéria orgânica leve do solo (matéria orgânica leve é uma fração ativa no solo, constituída por resíduos orgânicos parcialmente humificados em vários estádios de decomposição, com tempo de residência no solo que varia de um a cinco anos, conforme Janzen et al., 1992).

Segundo Portugal; Costa; Costa (2010), mudanças no uso do solo para sistemas com maior revolvimento afetam a agregação, resultando em degradação, uma vez que esta exerce grande influência no processo de formação e estabilização dos agregados (VEZZANI; MIELNICZUK, 2011; SILVA; MIELNICZUK; 1997).

Estudos destacam a correlação entre os teores de matéria orgânica e a dinâmica dos agregados dos solos (FONTANA et al., 2001; PORTUGAL; COSTA; COSTA, 2010) mostrando que a relação da matéria orgânica com a agregação do solo pode ser avaliada por meio das substâncias húmicas, devido a sua importância no processo de formação e estabilização dos agregados, por sua ação cimentante, que possibilita a formação de agregados estáveis, tendo a húmina recebido destaque pelos efeitos positivos produzidos nesta estabilização.

Para a formação do agregado, é necessário que os colóides do solo se encontrem floculados e que todos os componentes do agregado sejam posteriormente estabilizados por algum agente cimentante (HILLEL et al., 1980). Devido à forte ação cimentante dos óxidos de ferro e de alumínio nos macroagregados, a teoria da hierarquização não se aplica completamente aos Latossolos (OADES; WATERS, 1991), o que também pode ocorrer em solos caulíníticos, com presença de óxidos de ferro e de alumínio de baixa cristalinidade (SIX et al., 2000).

Diversos são os fatores que interferem na agregação do solo, dentre esses, os principais são: tipo e teor de argila, presença de metais polivalentes, carbonato de cálcio, óxidos e hidróxidos de ferro, alumínio e manganês, exudatos orgânicos de plantas, substâncias orgânicas provenientes da ação de micro-organismos e outros compostos orgânicos, de maneira que a matéria orgânica, os óxidos e os hidróxidos são agentes

cimentantes, tanto das partículas primárias quanto das partículas secundárias do solo (BASTOS et al., 2005).

Para observar esta dinâmica na formação dos agregados, a microscopia eletrônica é utilizada para analisar as frações de solo, pois fornece informações adicionais valiosas sobre as estruturas do solo e da matéria orgânica, conforme Bisdom, Dekker e Shoute (1993), que ressaltaram ser esta avaliação importante na visualização dos microagregados que são compostos de finos materiais orgânicos e minerais, e os macroagregados constituídos por materiais finos e grossos com e sem restos de plantas.

A resistência mecânica do solo à penetração é também um indicador de sua compactação, que acompanhada da umidade, o torna mais eficiente, além de se tratar de um atributo relativamente fácil de ser obtido, e apresentar boa correlação com porosidade, densidade (MONTANARI et al., 2008), e relação direta com o crescimento das plantas (FREDDI et al., 2006).

A resistência à penetração é mais influenciada pela variação na umidade do solo no momento da amostragem do que pela densidade (CARVALHO; SORATTO; FREDDI, 2002; 2012; FREDDI et al., 2006; MONTANARI et al., 2010; THIMÓTEO et al., 2001), por isto precisa ser considerada na avaliação dos dados de resistência.

Incrementos na densidade do solo e redução da umidade promovem aumentos da resistência do solo à penetração, efeito indesejável ao crescimento das plantas, podendo chegar a ser restritivo ao desenvolvimento radicular (GENRO JUNIOR; REINERT; REICHERT, 2004). A maioria dos trabalhos sobre resistência à penetração (RP) tem adotado a classificação estabelecida em ARSHAD et al. (1996) onde: a) $RP < 0,01$ Mpa = extremamente baixa; b) $0,01 \leq RP < 0,1$ Mpa = muito baixa; c) $0,1 \leq RP < 1,0$ Mpa = baixa; d) $1,0 \leq RP < 2,0$ Mpa = moderada; e) $2,0 \leq RP < 4,0$ Mpa = alta; f) $4,0 \leq RP < 8,0$ MPa = muito alta; e g) $RP > 8,0$ Mpa = extremamente alta.

Para um Latossolo Vermelho os resultados de resistência à penetração (RP) encontrados por Montanari et al. (2010) foram: RP1 de 1,563 MPa, RP2 de 2,618 MPa e RP3 de 3,236 MPa. Silva (2010), avaliando um Argissolo verificaram valores de RP variando de 0,58 MPa a 1,50 MPa; para um Latossolo Vermelho distrófico valores de RP variando entre 1,70 MPa e 3,20 MPa; e em Latossolo Vermelho distroférico típico encontrou valores de RP variando entre 0,20 MPa 2,80 MPa, portanto nota-se a ocorrência de valores muito variáveis, mas seu significado só faz sentido se estiver acompanhado da umidade e textura do solo.

A agricultura moderna deve se fundamentar na sustentabilidade dos recursos naturais, bem como na otimização do uso do solo e da água. Medidas de velocidade de infiltração e

infiltração acumulada de água refletem as condições de estrutura, densidade, porosidade, entre outros atributos do solo, os quais são influenciados pelos sistemas de manejo (ALVES; SUZUKI; SUZUKI, 2007).

Para que o manejo do solo e da água sejam eficientes é imprescindível conhecer a capacidade de infiltração de água e suas relações com atributos do solo (REICHARDT; TIMM, 2004).

A capacidade de infiltração de água no solo é influenciada pela sua porosidade e textura (CRUZ et al., 2014). Esta tem importância prática (ALVES SOBRINHO et al., 2003), pois determina o balanço de água na zona radicular e o deflúvio superficial, responsável pela erosão hídrica (REICHARDT, 1996).

Silva e Kato (1998), trabalhando em Latossolo Vermelho-Amarelo com cobertura vegetal, encontraram valores de velocidade de infiltração básica (VIB) variando de 56 a 96 mm h⁻¹ e, sem cobertura vegetal, o valor da VIB variou de 51 a 78 mm h⁻¹, caracterizando o efeito positivo da cobertura vegetal na infiltração de água no solo.

O uso intensivo de uma área, seja para pastagem, produção de grãos ou cobertura morta, causa redução na macroporosidade, infiltração de água e aumento da densidade, microporosidade e resistência do solo à penetração (SOUZA; ALVES, 2003; SOUZA, 2000; MARTÍNEZ; ZINCK, 2004).

A adoção de um sistema adequado de manejo do solo pode resultar em melhorias no armazenamento e na disponibilidade de água às plantas. Efeito este atribuído à proteção do solo com cobertura vegetal viva ou morta e menor movimentação o que possibilita maior retenção de água, maior disponibilidade de matéria orgânica e melhores condições físicas do solo (SÉGUY; BOUZINAC, 1995).

Bertol et al. (2001) observaram significativa redução na infiltração de água em solos sob pastagens compactadas, compactação esta atribuída ao pisoteio animal, acompanhada de incrementos na densidade e redução da macroporosidade, o que se reflete em redução na infiltração de água no solo.

2.6 Microbiologia do solo

A biomassa microbiana é considerada parte da fração viva da matéria orgânica, a qual desempenha função chave em diversos processos importantes do solo como decomposição, mineralização e ciclagem de nutrientes, além de representar um importante reservatório de N,

P e energia (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). O carbono da biomassa microbiana geralmente compreende 2 a 4% do carbono orgânico total do solo - COT (GAMA-RODRIGUES, 1999).

Esta biomassa microbiana pode ser utilizada como indicadora da qualidade do solo, uma vez que é influenciada pelo manejo deste. Desta maneira, qualquer estresse no sistema solo afeta a densidade, diversidade e a atividade das populações microbianas do solo (PANKHURST et al., 1995).

Nesse sentido, o desenvolvimento microbiano é estimulado pela redução na acidez, aumento no carbono orgânico e disponibilidade de água no solo (CATTELAN, GAUDÊNCIO; SILVA, 1997). A biomassa microbiana sofre modificações quando submetida a diferentes sistemas de preparo do solo. Em solos arenosos sob pastagens na Amazônia, Geraldés, Cerri e Feigl (1995) encontraram uma relação direta entre o aumento da população da biomassa microbiana e a disponibilidade de nutrientes advindos da serapilheira, com o aumento da umidade do solo.

Os índices microbiológicos, baseados em diferentes atributos, são capazes de discriminar o efeito de diferentes sistemas de manejo sobre qualidade do solo (PARR et al., 1992). Estudos têm mostrado que indicadores biológicos são mais sensíveis que indicadores químicos e físicos para revelar com maior antecedência alterações que ocorrem no solo em função de seu uso (DORAN, 1980). Dentre os atributos utilizados para caracterizar o componente biológico dos solos destacam-se as medidas de biomassa, atividade e diversidade microbiana (MENDES et al., 2009).

A quantificação da biomassa microbiana é considerada um bom indicador da qualidade do solo, entretanto, não prevê os níveis de atividade das populações (ANDERSON; DOMSCH, 1989), sendo necessário o uso de outros atributos para medir a atividade microbiana a fim de avaliar o estado metabólico atual e potencial das comunidades de microorganismos do solo (MELLONI et al., 2008; TÓTOLA; CHAER, 2002). Para tanto, a respiração basal (C-CO₂ liberado), o carbono da biomassa microbiana (CBM), o quociente metabólico (qCO_2) (DE-POLLI; PIMENTEL, 2005) e o quociente microbiano ($qMic$) estão entre os indicadores biológicos mais usados. Aliado a estes indicadores, tem sido avaliada, também, a simbiose entre plantas e fungos micorrízicos.

A respiração do solo é definida pela soma das funções metabólicas, nas quais o CO₂ é produzido e as bactérias e fungos são responsáveis pela maior liberação deste CO₂, o que ocorre via degradação da matéria orgânica (LUNDEGARDH, 1927). O C-CO₂ liberado possui uma estreita relação com as condições abióticas do solo, entre elas, umidade, temperatura, aeração (DE-POLLI; PIMENTEL, 2005) e disponibilidade no substrato, sendo

sua determinação um dos métodos mais utilizados para avaliar a atividade metabólica da população microbiana do solo (ZIBILISKE, 1994; ALVAREZ; SANTANATOGLIA; GARCIA, 1995). Esse representa um sensível indicador da decomposição de resíduos, da mineralização do carbono orgânico do solo e de distúrbios no ecossistema (ANDERSON; DOMSCH, 1985; SPARLING, 1997).

O Carbono da Biomassa Microbiana (CBM) é também um indicador de distúrbios no meio, uma vez que apresenta um ciclo rápido quando comparado ao da matéria orgânica do solo, além de responder prontamente aos distúrbios, quando comparado a outros atributos físico-químicos do solo e a produtividade das culturas (BALOTA et al., 1998; KASCHUK; ALBERTON; HUNGRIA, 2010). Cerri, Volkoff e Eduardo (1985) encontraram valores de biomassa microbiana 100% maiores em área sem ação antrópica em relação a áreas cultivadas, devido, principalmente, à maior deposição de resíduos orgânicos no solo e à grande quantidade de raízes, o que estimula a microbiota do solo, principalmente nas camadas superficiais.

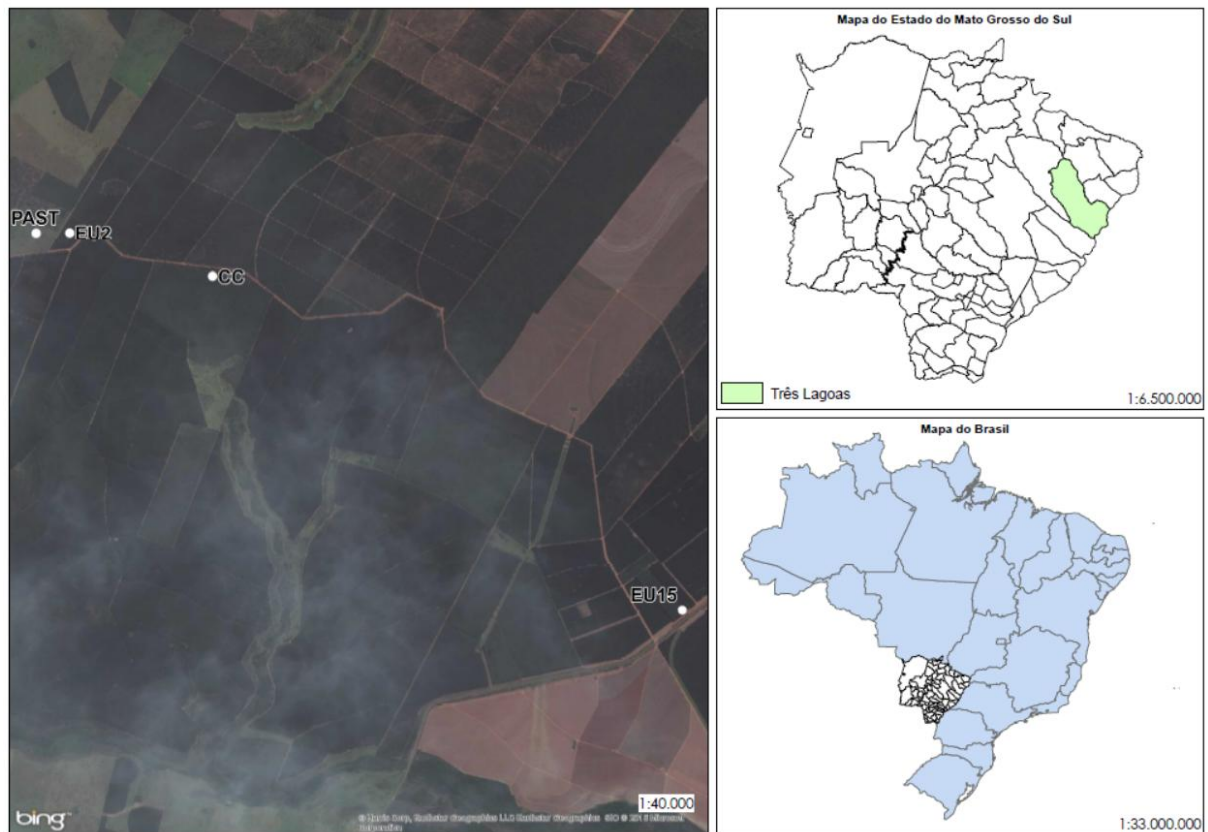
O qCO_2 , tem sido utilizado para verificar a eficiência do uso do substrato pelos organismos do solo (ANDERSON; DOMSCH, 1989). Como existe uma relação inversa entre o CBM e o qCO_2 , na presença de maiores teores de carbono, ocorrem incrementos do CBM e redução da atividade metabólica (INSAM; MITCHELL; DORMAAR, 1991). Dentro deste contexto, o qCO_2 pode ser usado como um indicador de estresse microbiano, pois expressa a energia necessária para manutenção da atividade metabólica em relação à energia necessária à síntese da própria biomassa (BARDGETT; SAGGAR, 1994).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e descrição das áreas

A pesquisa foi conduzida, em área experimental localizada em Três Lagoas (MS) (Figura 1).

Figura 1. Imagem da localização do experimento em escala nacional.



Fonte: Google (2016).

As coletas em campo ocorreram nos meses de agosto e setembro de 2014, sob eucalipto, em área da FIBRIA, empresa produtora de papel e celulose, e em propriedade particular produtora de gado em sistema extensivo, cujos pastos de *Uroclhoa decumbens*, de acordo com o proprietário, se encontram sem reforma há 10 anos, apresentando sinais de degradação (solo descoberto, plantas daninhas de porte alto, indícios de compactação, presença de *Paspalum notatus*, entre outros). Esta propriedade está localizada entre as áreas de eucalipto da empresa (Figura 2).

As áreas selecionadas para avaliação e sua respectiva localização foram: Cerrado *sensu stricto* conservado-CC (20°52'52'' S e 51°51'14'' W); Eucalipto instalado há 15 anos

em áreas de pastagem degradada, em espaçamento 3,6 x 2,3 m, utilizando clone de “*Urophila*”, desde então sem cortes e qualquer tipo de intervenção, de modo que a serrapilheira advinda das árvores não foi removida -EU15 (20°55'19" S e 51°47'47" W); Eucalipto introduzido há 2 anos em área de pastagem degradada com espaçamento de 3,6 x 2,3 m, utilizando clone de *Eucalyptus citriodora*. A adubação e correção do solo desta área foi feita apenas na introdução, quando recebeu adubação (NPK, boro e micronutrientes) química aérea, adubação química de base, adubação química de 12 meses, adubação química complementar e aplicação de calcário -EU2 (20°52'33" S e 51°52'17" W); e Pastagem de *Urochloa decumbens* degradada -PAST (20°52'36" S e 51°53'29" W).

Figura 2. Imagem da localização dos sistemas de manejo.



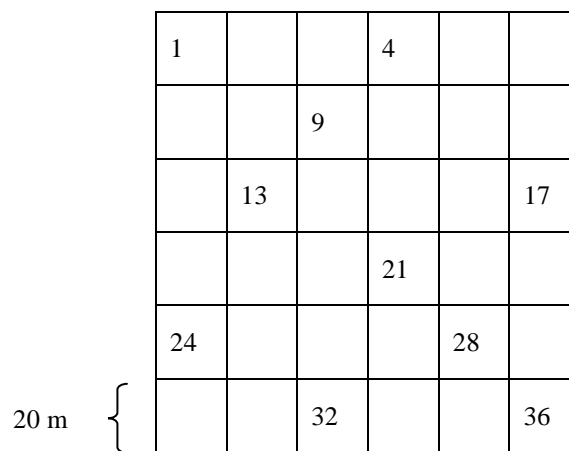
Fonte: Google (2016).

O clima da região é do tipo Aw, definido como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno, segundo classificação de Köppen, com precipitação e temperatura média anual de 1240 mm e 24,2° C, respectivamente. Nestas áreas os solos foram classificados como Latossolos Vermelhos Distróficos típicos, segundo levantamento fornecido pela empresa FIBRIA, sendo originalmente cobertos por vegetação de cerrado. Em sua maioria convertidos em pastagem na década de 60 e nas duas últimas décadas, com a expansão da indústria de papel e celulose na região, parte delas foram convertidas em plantações de eucalipto.

3.2 Delineamento experimental

Para estabelecimento dos trabalhos de campo utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizado, em cada área foram estabelecidos 4 blocos, com 9 repetições por bloco, totalizando 36 pontos amostrais, organizados em malha, subdividida de 20 em 20 m, com 40 m de bordadura (Figura 3). Para avaliação dos resultados, o solo sob vegetação natural, no caso Cerrado conservado (CC), foi considerado como controle.

Figura 3. Modelo da malha (20 x 20 m) alocada em campo, para dar suporte às coletas.



Fonte: Próprio autor.

3.3 Avaliações

3.3.1 Atributos químicos do solo

Análises de fertilidade do solo foram realizadas, em 9 amostras coletadas na profundidades de 0,00 a 0,05 m; e 04 nas profundidades de 0,05 a 0,10 e 0,10 a 0,30 m, em cada uma das áreas em avaliação (CC, EU2, EU15 e PAST). As amostras coletadas foram secas ao ar e passadas em peneira de 2 mm (TFSA) deixando-as preparadas para a análise, as quais foram realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo, do Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos da FEIS-UNESP.

As determinações foram realizadas em acordo com metodologia descrita por RAIJ et al. (2001), com pH determinado em CaCl_2 , teores de Ca (cálcio), Mg (magnésio), P (fósforo) e K (potássio) foram extraídos com resina trocadora de íons, na relação solo:água:resina de 1:10:1, enquanto para hidrogênio (H) + alumínio (Al), utilizou-se solução de acetato de cálcio

1N a pH 7,0 para a sua extração. O P foi determinado por colorimetria, para a acidez potencial (H+Al) se empregou o pH SMP e o Al^{+3} foi determinado por titulação com NaOH 0,025 N.

A matéria orgânica, resultante da análise das amostras realizadas pelo método de Walkley e Black adaptado e descrito por Raij et al. (2001), foi submetida a uma razão de 1,724 para se obter o valor do Carbono Orgânico Total destas. Este fator vem sendo utilizado para esta conversão e baseia-se na premissa que a Matéria Orgânica possui 58% do carbono orgânico (MACHADO; CAMPOS; SANTOS, 2003).

O Estoque de Carbono Orgânico (EstC) foi calculado, tomando como base o carbono orgânico acumulado em cada profundidades de solo estudada, utilizando-se a recomendação feita por Xie et al., (2007), por meio da equação:

$$\text{EstC} = (\text{CO} \times \text{Ds} \times e) / 10; \text{ onde}$$

EstC é o estoque de Carbono orgânico em determinada profundidade (Mg ha^{-1});

CO é o teor de Carbono orgânico total (g kg^{-1});

Ds é a densidade do solo média da profundidade (g cm^{-3}), determinada a partir de amostras indeformadas; e

e é a espessura da camada considerada (cm).

O EstC foi calculado a partir da TFSA, nas profundidades de 0,0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,30 m, nas áreas em estudo (CC, EU2, EU15 e PAST).

3.3.2 Atributos físicos do solo

Para determinação dos atributos físicos do solo, foram coletadas 09 amostras na camada de 0,0 a 0,05 m; e 04 amostras, nas profundidades de 0,05 a 0,10 e 0,10 a 0,30 m, em cada uma das áreas. As análises físicas do solo foram realizadas nos Laboratórios de Física do Solo e de Pedologia do Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos da FEIS-UNESP.

Para determinação da densidade, macro, microporosidade e porosidade total, pelo método do anel volumétrico, combinado com a mesa de tensão (EMBRAPA, 2011), amostras inderformadas foram coletadas, com anel de Kopecky, sendo 36 na profundidade de 0,0 a 0,05 m; 16 de 0,05 a 0,10 e 16 de 0,10 a 0,30 m, seguindo a orientação da malha e coletando as amostras no centro de cada quadrícula demarcada.

A análise granulométrica foi realizada em TFSA pelo método da pipeta (EMBRAPA, 2011), a partir de amostras coletadas na malha delimitada em campo e seguindo o mesmo esquema de coleta das amostras indeformadas, ou seja, 36 amostras, que produziram 04

amostras compostas de 9 amostras simples na profundidade de 0,0 a 0,05 m; e 16 amostras, que produziram 04 amostras compostas de 04 amostras simples, nas profundidades de 0,05 a 0,10 e 0,10 a 0,30 m (Tabela 1).

Tabela 1. Teores médios de areia, silte e argila em relação aos sistemas de manejo e às profundidades.

Áreas	Areia	Silte		Argila
		(g kg ⁻¹)		
		0,00-0,05m		
CC	797	58		145
EU15	816	41		143
EU2	783	62		155
PAST	757	56		187
		0,05-0,10m		
CC	794	59		147
EU15	811	33		156
EU2	778	61		161
PAST	733	56		212
		0,0-0,30m		
CC	794	52		154
EU15	790	50		159
EU2	759	63		178
PAST	678	65		257

Nota: CC=Cerrado conservado; EU15= Eucalipto reflorestamento 15 anos; EU2= Eucalipto 2 anos; PAST= Pastagem.

Fonte: Próprio autor

Para determinação da estabilidade de agregados em água, seguida da quantificação da fração areia, em cada uma das classes de diâmetro selecionadas, seguiu-se a metodologia descrita por Nimmo e Perkins (2002), onde a partir de amostras indeformadas, coletadas em blocos no campo (0,20 x 0,30 x 0,05 m nas camadas de 0,00-0,05 e 0,05-0,10 m e 0,20 x 0,30 x 0,20 m de 0,10-0,30 m), os quais foram separados manualmente, com auxílio de peneiras, em agregados que passaram pela peneira de malha de 8 mm e ficaram retidos na peneira de 4 mm. Destes, 25 g de agregados foram levados a peneiramento úmido (32 rpm), durante 10 minutos, onde foram utilizadas as peneiras de malha de 2,00; 1,00; 0,50; 0,25; 0,105 e 0,05, tendo sido realizadas 4 repetições.

A partir do fracionamento físico realizado para avaliação da estabilidade dos agregados, as frações de agregados de diâmetro 1,00-0,50 mm e de 0,250-0,05 mm foram selecionadas para observação de sua organização, por meio de imagens obtidas em Microscopia Eletrônica de Varredura- MEV, (WHITE, 2008), no equipamento EVO-LS15-ZEIS®. A decisão sobre quais diâmetros seriam analisados levou a priorização de

macroagregados e microagregados, de todos os tratamentos (CC, EU15, EU2 e PAST) na profundidade de 0,00-0,05m. Esta análise foi realizada para permitir a observação detalhada de estruturas diferentes (macro e micro), sob diferentes usos em campo, em solo arenoso, na profundidade de maior contribuição da matéria orgânica no solo.

A contribuição da fração areia também foi avaliada, para cada classe de diâmetro selecionado, por profundidade e por sistema de manejo, utilizando-se da dispersão dos agregados retidos em cada peneira, com o auxílio de NaOH a (1 mol l^{-1}) e 50 ml de água, seguidos de 45 minutos de agitação. Após este procedimento, o material resultante foi colocado na peneira de 0,053 mm e lavado com jato de água, onde o material retido foi seco em estufa a 105°C por 24 h, pesado e calculada a porcentagem de areia em cada fração.

A avaliação da infiltração acumulada de água e a velocidade de infiltração no solo foi realizada nos 36 pontos da malha, à superfície, com um mini infiltrômetro de disco (DECAGON DEVICES, 2007).

O teste de resistência à penetração (petrógrafo SC60) também foi realizado nos 36 pontos da malha amostral, em cada um dos sistemas de manejo estudados, durante o mês de agosto, período de pouca precipitação e solo muito seco. A avaliação foi conduzida até 0,60 m de profundidade, com análise dos dados feita a cada 0,05 m. A umidade gravimétrica foi determinada concomitante à resistência mecânica a penetração, pelo método da pesagem (EMBRAPA, 2011), com 3 repetições por ponto, cujas umidades médias foram de 5,45% CC, 5,03% EU15, 5,66% EU2 e 3,6% na PAST, umidade muito baixa, o que dificultou as medidas em campo.

3.3.3 Atributos microbiológicos do solo

A quantificação da respiração basal, foi avaliada pela determinação do CO_2 liberado utilizando metodologia proposta por Anderson e Domsch (1989), em 04 amostras compostas, a partir de 09 amostras simples, coletadas nas profundidades de 0,00 – 0,05 m; e 04 amostras compostas, a partir de 04 amostras simples nas profundidades de 0,05 – 0,10 m e 0,10 - 0,30 m, nas áreas CC, EU2, EU15 e PAST.

A quantificação do Carbono da Biomassa Microbiana (CBM) foi realizada pelo método de fumigação-extração (VANCE; BROOKES; JENKINSON, 1987), sendo utilizadas 2 amostras de 10g de solo por repetição, uma fumigada com clorofórmio para eliminar a microflora do solo e outra não fumigada. O carbono liberado pela morte dos micro-

organismos nas amostras fumigadas foi determinado por extração seguida de digestão, e comparado às amostras de solo não fumigadas.

O carbono microbiano extraído, para ambas as amostras, foi avaliado com o emprego do extrator K_2SO_4 $09,5 \text{ mol L}^{-1}$, após agitação por 30 minutos e filtração em papel de filtro Whatman nº1. O extrato oxidado, contendo o carbono microbiano, foi misturado com dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7 \text{ mol L}^{-1}$) e ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado e colocado no bloco digestor, onde as amostras permaneceram por 30 minutos a uma temperatura de 90°C .

O excesso de dicromato foi titulado com sulfato ferroso amoniacal $[(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O]$, utilizando difenilamina como indicador, revelando deste modo a quantidade de dicromato utilizado na oxidação e, assim, a quantidade de carbono extraída.

A partir destes resultados determinou-se a biomassa fazendo uso da equação

$B = (Cf - Cnf) / K_{ec}$, em ($\mu\text{g C g}^{-1}$ solo seco) onde:

Cf e **Cnf** representam o carbono extraído dos solos fumigados e não fumigados, respectivamente; e

K_{ec} representa a proporção do total do carbono microbiano extraído após a fumigação.

A determinação do quociente metabólico (qCO_2) representa a quantidade de C-CO₂ liberado por unidade de CBM, segundo Anderson (1994) e foi estimada pela razão C-CO₂ liberado / CBM, ou seja: $\text{mg C-CO}_2 \text{ g solo fresco}^{-1} \text{ h}^{-1} / \text{mg de C de biomassa} \cdot \text{g de C}^{-1} \text{ solo}^{-1}$.

3.3.5 Análise estatística

Os resultados foram submetidos às pressuposições da análise de variância (homogeneidade de variância e normalidade dos dados) e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) utilizando o programa SAS (2003).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Atributos Químicos do solo

O solo do CC apresenta maior conteúdo de cálcio (Ca) e maior CTC que os demais sistemas de manejo (Tabela 2), mesmo a área de EU2 tendo recebido corretivos e fertilizantes por ocasião de sua implantação, estes efeitos não permaneceram para o Ca ao longo de dois anos, possivelmente devido a lixiviação, comum em solo arenoso (WERLE; GARCIA; ROSOLEM, 2008), além da elevada extração conduzida pela planta (GONÇALVES E BENEDETTI, 2005). O eucalipto é uma espécie que retém grande quantidade de cálcio na porção suberosa da planta (MADEIRA; PEREIRA, 1991), de modo que a deposição da serrapilheira causa aumento nos teores deste nutriente no solo, entretanto o EU15, com maior volume de biomassa sobre o solo não apresentou este resultado.

Tabela 2. Valores médios de P, MO, pH, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, H⁺Al, Al³⁺, CTC, S, m%, B, Cu, Fe, Mn e Zn, valores de F e coeficiente de variação (CV), por Sistemas de Manejo (SM) e profundidade (Prof) do solo das áreas em avaliação, Três Lagoas (MS).

		Valores de F			CV (%)	Sistemas de Manejo			Profundidades (m)			
		SM	Prof	SMxProf		CC	EU15	EU2	PAST	0,0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,30
P	mg dm ⁻³	24,305**	11,137**	38,339**	27	6,1b	3,7c	8,7a	4,6bc	5,5b	4,6b	7,2a
MO	g dm ⁻³	19,25**	89,34**	4,94**	9	16,4a	13,8b	13,0b	13,3b	17,3a	13,6b	11,5c
pH		7,163**	0,244 ^{ns}	3,36**	2	4,0b	4,1a	4,1a	4,1a	4,1	4,1	4,1
K		38,462**	58,500**	6,654**	27	0,5a	0,2bc	0,1c	0,3b	0,4a	0,3b	0,1c
Ca		19,54**	16,34**	2,26 ^{ns}	17	6,1a	4,5b	3,6c	5,0b	5,7a	4,6b	4,1b
Mg	mmol _c dm ⁻³	5,75**	33,10**	2,59*	23	2,3	2,8ab	2,8ab	3,3a	3,8a	2,6b	2,0c
H+Al		17,04**	8,52**	2,74*	16	46,8a	32,1b	31,2b	36,4b	40,8a	37,1ab	33,2b
Al		20,07**	1,38 ^{ns}	4,33**	12	12,3a	9,0b	9,2b	9,7b	9,6	10,2	10,3
CTC		17,85**	15,54**	2,35 ^{ns}	14	54,6a	39,6bc	37,6c	46,1b	50,5a	44,6b	38,2c
S	mg dm ⁻³	62,11**	20,01**	25,75**	35	2,5b	3,0b	10,0a	2,8b	3,4b	3,8b	6,6a
m	%	7,93**	36,57**	5,21**	8	61,3a	54,7b	57,6ab	52,6b	49,0c	57,6b	63,0a
B		27,70**	17,75**	4,81**	14	0,3b	0,4a	0,3b	0,3b	0,43a	0,4b	0,3c
Cu		8,89**	2,68 ^{ns}	5,83**	14	0,57b	0,50b	0,50b	0,66a	0,54	0,55	0,6
Fe	mg dm ⁻³	41,93**	146,31**	16,61**	19	57,4a	52,9a	24,6c	36,1b	68,9a	39,3b	20,1c
Mn		169,69**	138,13**	26,56**	12	14,4a	7,7b	5,3c	7,6b	12,2a	7,7b	6,3c
Zn		43,72**	27,297**	45,205**	38	0,18b	0,13b	0,53a	0,19b	0,25b	0,13c	0,38a

Nota: Média seguida de mesma letra minúscula na linha, não diferem significativamente entre si pelo Teste Tukey para 1% de probabilidade. CC=Cerrado conservado; EU15=Eucalipto com 15 anos; EU2= Eucalipto com 2 anos; PAST= Pastagem degradada.

Fonte:Próprio autor

Os sistemas de manejo EU15 e PAST não apresentaram redução do teor de P em profundidade (Tabela 3). No entanto para o CC e o EU2 o comportamento foi oposto, isto é ocorreu redução em profundidade. No CC resultado coincidente com o maior conteúdo de MO, o que explica o maior teor de P encontrado.

No caso do EU2 o comportamento é explicado pela forma de aplicação do P ao solo no momento do preparo e à sua baixa mobilidade, garantindo sua permanência na profundidade de 0,10-0,30m. Durante o preparo do solo, a haste do escarificador atinge 0,30m de profundidade onde deposita o fertilizante. Raij (1991), relatou certa dificuldade na avaliação do comportamento do P em solos que receberam aplicações recentes de fosfatos solúveis, o que atribui à baixa mobilidade do nutriente no solo.

Observa-se também que na profundidade de 0,05-0,10 m (Tabela 3) não ocorreram diferenças significativas no teor de P entre os sistemas de manejo. Na PAST o P não variou em profundidade, sugerindo que o aporte via matéria orgânica, mesmo em pastagem degradada tem sido suficiente para manter os teores de P no solo, o que pode ser atribuído ao sistema radicular fasciculado das gramíneas, que contribui para o aporte de P ao solo como descrevem Salton et al. (2008) em áreas de pastagem degradada. No EU15 o P também não varia significativamente em profundidade, porém com valores bem baixos (Tabela 3) não mostrando eficiência de aporte via matéria orgânica além dos 0,05 m superficiais.

A matéria orgânica (MO) variou entre os SM apenas na profundidade 0,00-0,05 m (Tabela 3), dando destaque ao CC, com maior aporte de MO apenas na camada mais superficial, reforçando a influência da deposição de material vegetal sobre esta camada, conforme observado por Pulrolnik et al. (2009), Pegoraro et al. (2011), Gonçalves e Stape (2002) e Fernandes et al. (2012), sendo em ordem decrescente CC>EU15>PAST>EU2.

Tabela 3. Desdobramento da interação Sistemas de Manejo (SM) e Profundidade (Prof) para P, MO, pH, K, Mg, H Al, S, m%, B, Cu, Fe, Mn e Zn.

	P				MO			
	0,0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,30	Valor F	0,0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,30	Valor F
CC	7,8aA	6,0AB	4,5bC	4,342*	21,3aA	15,3B	12,8C	50,422**
EU15	5,0ab	3,5	2,5b	2,60 ^{ns}	17,8bA	13,0B	10,5C	35,835**
EU2	4,0bB	3,8B	18,5aA	117,03**	14,5cA	13,0AB	11,5C	5,945**
PAST	5,2ab	5,3	3,3b	2,188 ^{ns}	15,5bcA	13,3B	11,3B	11,945**
Valor F	4,171*	2,359 ^{ns}	94,453**		23,67**	3,138 ^{ns}	2,312 ^{ns}	

...continuação tabela 3.

pH				K				
CC	3,9bB	4,0AB	4,1A	5,442**	0,7aA	0,4aB	0,2C	42,000**
EU15	4,1a	4,1	4,1	1,256 ^{ns}	0,4bA	0,2bB	0,1B	14,000**
EU2	4,2a	4,1	4,2	1,814 ^{ns}	0,2c	0,2b	0,1	1,077 ^{ns}
PAST	4,2a	4,1	4,1	1,814 ^{ns}	0,4bA	0,4aA	0,1B	21,385**
Valor F	11,547**	1,116 ^{ns}	1,22 ^{ns}		34,577**	14,577**	2,615 ^{ns}	
Mg				H+Al				
CC	2,8c	2	2	1,831 ^{ns}	58,3aA	45,3aB	37,0B	12,64**
EU15	4,0abA	2,5B	2,0B	10,576**	37,0bA	33,5bAB	25,8AB	3,650*
EU2	3,5bcA	3,0AB	2,0B	5,695**	38,8b	21,8b	31	0,030 ^{ns}
PAST	5,0aA	3,0B	2,0B	22,78**	37,0b	38,0ab	34,3	0,415 ^{ns}
Valor F	8,695**	2,237 ^{ns}	0,001 ^{ns}		15,946**	3,995*	2,574 ^{ns}	
Al				S				
CC	13,0a	12,3a	11,5a	1,645 ^{ns}	2,8	2,8	2,0b	0,297 ^{ns}
EU15	9,5b	9,30b	8,3b	1,279 ^{ns}	2,5	3,3	3,3b	0,297 ^{ns}
EU2	8,3b	9,30b	10,0ab	2,254 ^{ns}	5,3bc	5,8B	19,0aA	96,231**
PAST	7,8bB	10,0bA	11,3aA	9,198**	3	3,3	2,3b	0,429 ^{ns}
Valor F	16,386**	5,893**	6,545**		2,538 ^{ns}	2,901 ^{ns}	108,165**	
m				B				
CC	60,0c	62,0	62,0	0,244 ^{ns}	0,41bcA	0,30bB	0,24bB	11,282**
EU15	45,5abA	58,0B	60,5B	11,840**	0,54aA	0,42aB	0,32bC	17,667**
EU2	52,0bcA	54,8A	66,0B	10,097**	0,43b	0,50a	0,44a	1,908 ^{ns}
PAST	38,5aA	55,8B	63,5B	30,021**	0,33c	0,30bB	0,27b	1,334 ^{ns}
Valor F	15,43**	1,898 ^{ns}	1,01 ^{ns}		11,408**	13,722**	12,200**	
Cu				Fe				
CC	0,60ab	0,55ab	0,55bc	0,511 ^{ns}	102,0aA	44,8abB	25,5C	95,802**
EU15	0,48bc	0,55ab	0,48c	1,149 ^{ns}	89,0aA	51,5aB	18,3C	75,805**
EU2	0,43cB	0,43bB	0,73aA	18,383**	28,5c	25,5c	19,8	1,196 ^{ns}
PAST	0,65a	0,68a	0,65ab	0,128 ^{ns}	56,0bA	35,5bcB	16,8C	23,318**
Valor F	6,766**	6,383**	7,404**		66,518**	7,733**	0,886 ^{ns}	
Mn				Zn				
CC	17,0aA	13,4aB	12,7aB	19,383**	0,30abA	0,13B	0,10bB	5,182*
EU15	15,6aA	4,7cB	2,9cC	173,82**	0,15b	0,1	0,13b	0,273 ^{ns}
EU2	6,0c	5,6bc	4,4bc	2,618 ^{ns}	0,20abB	0,18B	1,2aA	149,182**
PAST	10,2bA	7,2bB	5,3bC	22,018**	0,25aA	0,13B	0,10bB	8,273**
Valor F	94,300**	57,346**	71,076**		3,636**	0,432 ^{ns}	130,068**	

Nota: Média seguida de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem significativamente entre si pelo Teste Tukey para 1% de probabilidade. CC=Cerrado conservado; EU15=Eucalipto com 15 anos; EU2= Eucalipto com 2 anos; PAST= Pastagem degradada.

Fonte: Próprio autor

Em linhas gerais, todos os nutrientes apresentam comportamento semelhante ao da MO, ou seja, redução em profundidade e como consequência, quanto maior o teor de MO no sistema de manejo, maior o teor dos nutrientes (Tabela 3).

Este comportamento permite inferir que a retenção de nutrientes em solos arenosos está diretamente relacionada à presença de MO, que possui cargas para manutenção destes nutrientes no solo (LOPES et al., 2004 e MUZILLI, 2002).

O EU2, mesmo tendo recebido adubação com NPK e correção da acidez na implantação, após dois anos não conseguiu reter tais nutrientes, confirmando que a textura desses solos (arenoso – Tabela 1) possuem baixa capacidade de retenção e alto potencial de lixiviação, além da elevada imobilização dos nutrientes pelo eucalipto (WERLE; GARCIA; ROSOLEM, 2008; GONÇALVES; BENEDETTI, 2005).

Para Leite et al.(2009), os valores críticos de P, K, Ca e Mg no solo para manutenção do eucalipto deveriam estar por volta de $6,1 \text{ mg dm}^{-3}$; 30 mg dm^{-3} ; $0,30 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e $0,05 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente. No presente estudo, o P no CC e EU2, estão adequados, o K apresenta-se em teores que podem ser considerados críticos para todos os manejos, enquanto Ca e Mg apresentam-se acima dos teores que seriam considerados críticos, indicando haver condições nutricionais para o desenvolvimento do povoamento de eucalipto.

Os teores de S e Zn apresentaram comportamento semelhante para o EU2, tratamento que recebeu aplicação de fertilizantes há 2 anos. Em contra partida, o boro que também foi adicionado, não ficou retido no solo, por ser um ânion sujeito a lixiviação.

O índice m% reflete a necessidade de calagem e gessagem, conforme Guimarães, Floriano e Vieira (2015) trabalhando com eucalipto em solos arenosos do Pampa gaúcho, sugerem que valores maiores que 20% indicam necessidade de correção e portanto, caracterizam solos com baixa fertilidade natural, dado corroborado pelos valores de pH observados.

A acidez potencial (H+Al) mostra um solo com elevada acidez (PÁDUA et al., 2006; GUIMARÃES; FLORIANO; VIEIRA, 2015), o que é ratificado pelo Al^{3+} e m % (Tabela 3). Fato corroborado pela granulometria (Tabela 1) que, com alto teor de areia, dificulta a retenção e troca de cargas, indicando comprometimento do processo de absorção de nutrientes. A PAST apresenta incremento de Al em profundidade, sugerindo que este comportamento seja resultado do manejo dado à área de pastagem e que se encontra, ainda que não significativo, também registrado no EU2, área de pastagem recém convertida em plantio de eucalipto.

Cabe lembrar que apenas o EU2 recebeu calagem no período de implantação, entretanto após dois anos os efeitos não são mais notados.

O comportamento observado reflete as características do solo, Latossolo Vermelho distrófico típico, de textura arenosa, solo que possui baixa capacidade de retenção de cátions, e mesmo após correção da acidez (calagem), teve as bases trocáveis reduzidas rapidamente, devido à associação da textura com a condição climática da região (precipitação e temperatura média anual de 1240 mm e 24,2 °C, respectivamente, com chuvas concentradas no verão), favorecendo a redução do teor de nutrientes do solo e indicando a necessidade de criar estratégias para aporte de matéria orgânica para suplantar esses processos.

Na área de EU2 esperava-se melhores resultados para fertilidade, uma vez que foram aplicados fertilizantes e corretivos no período de implantação do eucalipto, reforçando a importância da matéria orgânica, particularmente em solos arenosos, por favorecer a retenção de cargas, além de reter umidade entre outros, chamando atenção para os cuidados que devem ser tomados no manejo dos solos e particularmente dos solos arenosos.

4.2 Atributos Físicos e Carbono Orgânico do solo

Na região onde este trabalho foi desenvolvido, o eucalipto vem sendo introduzido em áreas de pastagem degradada, caso das áreas em avaliação, onde observa-se que após 15 anos (EU15) de reflorestamento com eucalipto, portanto com menor revolvimento do solo, apenas a camada de 0,0 - 0,05 m apresenta valores de densidade próximos aos do CC, sinalizando uma possível recuperação deste atributo (Tabelas 4 e 5).

A densidade aumenta em profundidade sob CC e EU15 (Tabela 5), mas não varia em profundidade sob EU2, área mecanizada 2 anos antes da coleta das amostras por ocasião do preparo e introdução da cultura, porém com sinais muito presentes da mecanização, que revolveu e homogeneizou toda a camada de 0,00-0,30 m de profundidade. Estes resultados enfatizam a importância do manejo na manutenção da qualidade dos atributos físicos, pois tomando o CC como referência, nota-se a presença de processos de degradação nas áreas em uso comercial, comportamento que se repete para carbono orgânico-CO (Tabela 6).

Na pastagem, por sua vez, o efeito é oposto, com maior densidade de 0,00-0,05m e 0,05-0,10 m de profundidade, e menor densidade de 0,10-0,30 m (Tabela 5), o que pode ser atribuído ao pisoteio animal e a falta de manejo da pastagem, como também observaram Bertol et al. (2001) e Martínez e Zinck (2004). Na pastagem a densidade também é mais elevada se comparada aos demais SM, até a profundidade de 0,00-0,10 m.

Tabela 4. Valores médios para densidade do solo, macro e microporos, porosidade total (PT), valores de F e coeficiente de variação (CV), por sistemas de manejo (SM) e profundidade (Prof).

Fontes de Variação	Densidade (g cm ⁻³)	Macroporos - - - - -	Microporos - - - - - (%)	PT - - - - -
Valores de F				
SM	65,07**	9,20**	9,20**	12,91**
Prof	14,40**	8,32**	2,49 ^{ns}	0,78 ^{ns}
SM x Prof	7,37**	4,46**	0,61 ^{ns}	0,93 ^{ns}
CV (%)	8	56	20	20
Sistemas de Manejo (SM)				
CC	1,26a	12,10a	35,81 ^a	47,91a
EU15	1,35b	12,66a	33,24 ^a	45,90a
EU2	1,42c	7,06b	34,39 ^a	41,45b
PAST	1,55d	8,75b	29,61b	38,36b
Profundidades (m)				
0,00 - 0,05	1,36a	11,37a	32,65 ^{ns}	44,0 ^{ns}
0,05 - 0,10	1,43b	9,59ab	32,95 ^{ns}	42,5 ^{ns}
0,10 - 0,30	1,43b	7,91b	34,99 ^{ns}	42,9 ^{ns}

Nota: Médias seguidas de mesma letra, por coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey para $P < 0,05$. ^{ns}= não significativo; ** e * significativo a 1 e 5 % respectivamente. CC=Cerrado conservado; EU15= Eucalipto reflorestamento 15 anos; EU2= Eucalipto 2 anos; PAST= Pastagem.

Fonte: Próprio autor

Tabela 5. Desdobramento da interação entre Sistemas de manejo (SM) x Profundidades (Prof), para Macroporosidade e Densidade do solo.

Fontes de variação	CC	EU15	EU2	PAST	Valores de F
Prof (m)					
- - - - - Densidade do solo (g kg ⁻¹) - - - - -					
0,00 - 0,05	1,22aA	1,26aA	1,39b	1,59bC	79,50**
0,05 - 0,10	1,28abA	1,41bB	1,46bc	1,54aC	15,35**
0,10 - 0,30	1,33bA	1,46bB	1,45b	1,50bB	6,68**
Valores de F	6,34**	19,48**	2,68 ^{ns}	3,53*	
Prof (m)					
- - - - - Macroporosidade (%) - - - - -					
0,00 - 0,05	13,36aA	16,11aA	7,82b	8,16b	18,36**
0,05 - 0,10	13,41aA	9,89bAB	6,44b	8,68ab	4,21**
0,10 - 0,30	7,98bA	7,64bA	5,96a	10,26a	1,50 ^{ns}
Valores de F	5,53**	14,81**	0,73 ^{ns}	0,73 ^{ns}	

Nota: Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúsculas na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey para $P < 0,05$. ^{ns}= não significativo; ** e * significativo a 1 e 5 % de probabilidade, respectivamente. CC=Cerrado conservado; EU15= Eucalipto reflorestamento 15 anos; EU2= Eucalipto 2 anos; PAST= Pastagem.

Fonte: Próprio autor

Valores de densidade foram relatados variando de 1,40 a 1,80 kg dm⁻³ em solos de textura arenosa e de 1,00 a 1,25 kg dm⁻³ em solos argilosos, sendo considerados restritivos ao

desenvolvimento das plantas valores acima de $1,55 \text{ kg dm}^{-3}$ (KIEHL, 1979), mostrando que a área de pastagem apresenta densidade restritiva ao desenvolvimento vegetal até a profundidade de 0,10 m (Tabela 5).

A maior densidade exibida pela pastagem, atribuída ao pisoteio promovido pelo gado e à ausência de manejo conservacionista na área, também foi reportado por Martínez e Zinck (2004) para pastagens, tanto em solo arenoso como argiloso, onde a densidade aumentou entre 30 e 40 %, respectivamente, devido ao pisoteio.

A densidade do solo tem relação direta com sua porosidade total (PT), onde à medida que aumenta a densidade diminui a porosidade, como consequência aumentam a resistência do solo à penetração e reduz a velocidade infiltração de água, variáveis que quando alteradas comprometem ou dificultam o desenvolvimento vegetativo e a produção (CUNHA et al., 2001; ALVES SOBRINHO et al., 2003; ALVES; SUZUKI; SUZUKI, 2007).

Associado à redução da PT, observada para EU2 e PAST, ocorreu também redução da macroporosidade (Tabelas 5). No CC e no EU15 a macroporosidade está acima ou bem próxima do ideal, $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ou 10 %, até 0,10 m de profundidade. O valor indicado como ideal é o mínimo adequado para as trocas líquidas e gasosas entre o ambiente externo e o solo, e considerado crítico para o crescimento das raízes da maioria das culturas (BAVER et al., 1972; KIEHL, 1979; SUZUKI et al., 2007). No EU2 os macroporos apresentam valores considerados restritivos até 0,30 m de profundidade e na PAST até 0,10 m. Normalmente, o revolvimento do solo promove um incremento temporário na macroporosidade, porém este efeito é eliminado, segundo Silva et al. (2005), pela reconsolidação ou adensamento do solo, em função da ausência de revolvimento ao longo do tempo, neste caso, 2 anos parecem ter sido suficientes para consolidar o solo e diminuir a macroporosidade a valores restritivos até 0,30 m de profundidade.

Segundo Montanari et al. (2010), em solos arenosos a porosidade tende a ser menor ($0,350 - 0,500 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) do que nos argilosos ($0,400 - 0,600 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). No presente caso, os SM apresentaram porosidade entre $0,480$ e $0,360 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, dentro do esperado para solo arenoso, confirmando restrição ao desenvolvimento das plantas.

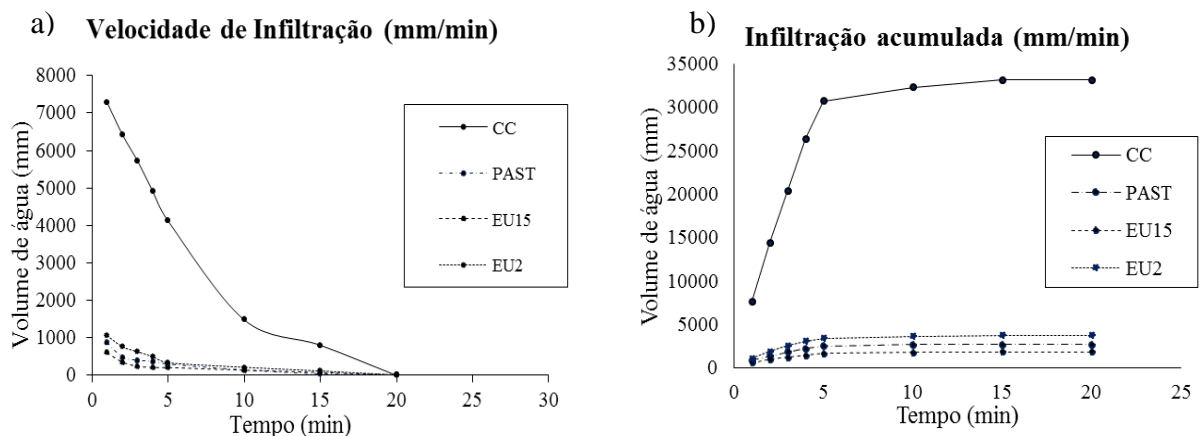
A retenção de água no solo é influenciada pela porosidade, pela distribuição do tamanho de partículas do solo e pelo arranjo das mesmas (CRUZ et al., 2014). Assim, o solo manejado adequadamente, tem como característica a boa qualidade físico-hídrica, que é refletida na retenção e permeabilidade da água no solo (SILVA et al., 2005) e os resultados obtidos para velocidade de infiltração (Figura 4a) corroboram com observações feitas sobre PT, densidade (Tabela 5) e resistência mecânica do solo à penetração (Figura 5).

O CC apresentou maior velocidade de infiltração ($\hat{y}_{(CC)}=-2800\ln(x)+8623,9$; $R^2=0,9465$) e maior infiltração acumulada de água, que as demais áreas ($\hat{y}_{(EU2)}=-362,5\ln(x)+1051,6$; $R^2=0,9772$, $\hat{y}_{(EU15)}=-180,6\ln(x)+523,59$; $R^2=0,9064$ e $\hat{y}_{(PAST)}=-429,37\ln(x)+757,67$; $R^2=0,9237$) (Figura 4).

A menor velocidade de infiltração para PAST, EU2 e EU15 pode ser atribuída à compactação do solo, a qual ocorre devido a modificações no arranjo de suas partículas, conforme citado para a densidade do solo, indicando degradação da estrutura, diminuição no tamanho dos poros, especialmente redução dos macroporos (Tabela 4 e 5), o que leva à redução na área da seção transversal para o fluxo da água (SOUZA; ALVES, 2003).

Silva e Kato (1998), trabalhando em Latossolo Vermelho-Amarelo com cobertura vegetal morta, encontraram valores de velocidade de infiltração básica (VIB) variando de 56 a 96 mm h⁻¹ e, sem cobertura vegetal, o valor da VIB variou de 51 a 78 mm h⁻¹, caracterizando o efeito positivo da cobertura vegetal sobre a infiltração de água no solo, comportamento semelhante ao observado no presente estudo, enfatizando os benefícios da cobertura vegetal sobre os solos. Alves e Cabena (1999) trabalhando sob dois sistemas de cultivo, plantio direto e convencional, sob chuva simulada, concluíram que a infiltração acumulada e a VIB foram maiores no sistema de plantio direto devido aos efeitos gerados pela cobertura vegetal, que melhora a estrutura e por consequência a quantidade de macroporos, reduz a densidade do solo e permite que o fluxo de água no sistema solo seja mais eficiente.

Figura 4. Gráficos de (a) velocidade de infiltração e (b) Infiltração acumulada (mm/h).



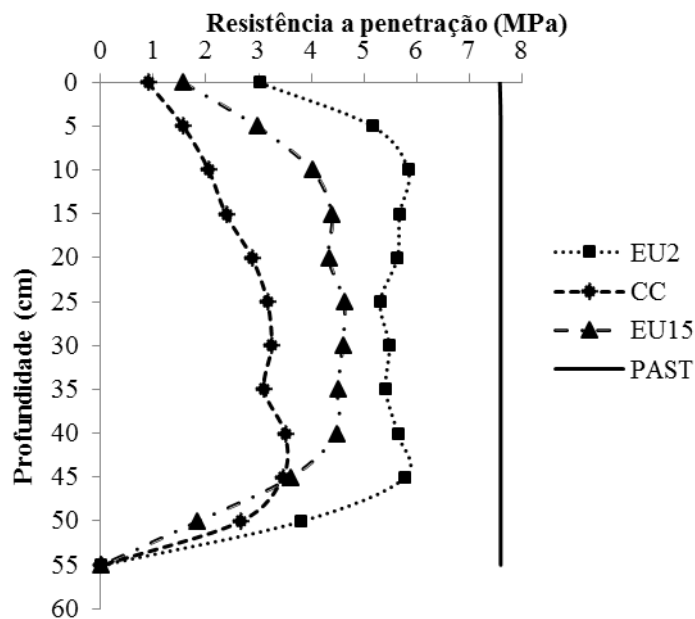
Fonte: próprio autor

Como a variável hídrica é um atributo real e integrado ao preparo do solo, tempo de cultivo, teor de carbono orgânico e grau de compactação, pode-se afirmar que os solos sob

cultivo degradaram-se, em termos físicos e conteúdo de carbono orgânico, evidenciando ausência de sustentabilidade no manejo da atividade (CUNHA et al., 2001).

Este comportamento é ratificado pela Resistência do solo à Penetração (RP), onde os menores valores de infiltração de água coincidem com elevada RP, ainda mais acentuada na pastagem e reforçam os efeitos negativos desta sobre a infiltração acumulada de água (Figura 5), embora as medidas tenham sido realizadas em período de solo muito seco, foi possível observar diferenças entre os SM e impossível realizar as medidas na pastagem.

Figura 5. Resistência mecânica do solo à penetração (MPa).



Fonte: próprio autor

Valores de RP acima de 2,0 MPa são considerados restritivos ao desenvolvimento radicular (ARSHAD; MARTINS, 2002), no entanto tem sido citado como críticos valores de 2,5 MPa, para pastagens (LEÃO, 2002); 3,0 MPa para floresta; e 3,5 MPa para Sistema de Plantio Direto (GIAROLA; TORMENA; DUTRA, 2007), lembrando que tais índices citados pelos autores foram obtidos com umidade em torno de 60-70% da capacidade de campo enquanto os dados do presente estudo foram obtidos com umidade em torno de 5%.

O CC (2 MPa) foi o sistema de manejo com RP menos restritiva ao desenvolvimento radicular de plantas em geral mesmo na seca, enquanto EU15 (3 MPa), EU2 (4,5 MPa) e PAST (7 MPa) apresentam restrições, e no caso da PAST e do EU2, restrição inclusive ao desenvolvimento de arbóreas, o que pode vir a comprometer o desenvolvimento da cultura do eucalipto.

Alguns estudos tem adotado a classificação proposta por Arshad et al. (1996) para a resistência à penetração (RP), sendo extremamente baixa: $RP < 0,01$ MPa; muito baixa: $0,01 < RP < 0,1$ MPa; baixa: $0,1 < RP < 1,0$ MPa; moderada: $1,0 < RP < 2,0$ MPa; alta: $2,0 < RP < 4,0$ MPa; muito alta: $4,0 < RP < 8,0$ MPa e extremamente alta: $RP > 8,0$ MPa. Desta forma a área sob pastagem apresenta RP classificada como muito alta, enquanto no cerrado varia de baixa a alta.

Montanari et al. (2010), verificou para Latossolo Vermelho valores de RP variando de 1,563 MPa a 3,236 MPa, enquanto que Silva et al. (2002), verificaram para Argissolo valores de RP variando de 0,58 MPa a 1,50 MPa, para Latossolo Vermelho distrófico RP variando entre 1,70 MPa e 3,20 MPa; e para Latossolo Vermelho distroférico típico valores de RP variando entre 0,20 MPa 2,80 Mpa. Valores esses menores que os encontrados neste trabalho, indicando o comprometimento das condições físicas do solo na PAST, nas condições em que foi analisada.

A RP enfatiza os resultados obtidos anteriormente para densidade do solo, macro, microporosidade e porosidade total (Tabela 4 e5), exemplificando que se o manejo do solo não for adequado, implicará em aumento da densidade, redução da porosidade e por consequência aumento da RP, degradação da estrutura, redução na VIB e na capacidade de acúmulo de água no solo. Portanto, este atributo se mostra um bom avaliador da qualidade física do solo, pois além de ser facilmente influenciado pelo manejo, é de fácil obtenção de dados no campo.

A distribuição dos agregados do solo, estáveis em água (Tabela 6), indicou predominância de macroagregados (> 2 mm) (TISDALL; OADES, 1982), e diferiu estatisticamente, entre os sistemas de uso e as profundidades. No entanto, os agregados com $< 0,105$ mm não apresentaram diferenças significativas para os sistemas de uso e nem para profundidades. A maior porcentagem de agregados com >2 mm, encontrada no CC, diferiu apenas do EU15. De acordo com a literatura (SILVA et al., 2004; SIQUEIRA NETO et al., 2009), áreas com menor movimentação de solo apresentam maior estabilidade dos agregados maiores, caso diferente do EU15, que nesta avaliação apresentou a menor estabilidade de agregados, mesmo após 15 anos sem revolvimento do solo. A maior quantidade de agregados estáveis em água ($> 2,00$ mm) em Latossolos sob Cerrado, também foi reportada por Salton et al. (2008), em estudo com diferentes sistemas de manejo do solo e observado em outras pesquisas (AN et al., 2010; ANDERS et al., 2010; FERNÁNDEZ et al., 2010), inclusive com solo arenoso.

Analisando os sistemas de manejo estudados (Tabela 7), notou-se que todos possuem solo com granulometria média-arenosa (EMBRAPA, 2013). O conteúdo de areia do solo sob EU15 foi superior aos do EU2 e PAST em todas as profundidades, enquanto o conteúdo de CO (Tabela 8) foi menor que no CC, fato que explica a menor estabilidade dos agregados nesta área de reflorestamento e reforça a importância da matéria orgânica associada às argilas na dinâmica dos agregados (Figuras 6 a; b), como também observado por outros autores (VERCHOT et al., 2011; SANTOS et al., 2011; BAST et al., 2014).

Tabela 6. Valores de F e Coeficiente de Variação (CV), para distribuição dos agregados (%), carbono orgânico (CO), e Estoque de carbono (EstC) em relação aos sistemas de manejo e profundidades (Prof).

Fontes de Variação	Diâmetro dos agregados (mm)						CO (g kg ⁻¹)	EstC (Mg ha ⁻¹)
	>2	2,0 - 1,0	1,0 - 0,50	0,50 - 0,25	0,25 - 0,105	0,105 - 0,053		
Valores de F								
SM	10,99*	6,91**	8,04**	24,70**	7,62**	0,88 ^{ns}	50,95**	59,75**
Prof(m)	3,44*	4,65**	3,99*	8,63**	3,02 ^{ns}	1,13 ^{ns}	176,26**	
Trat.x Prof	1,47 ^{ns}	1,64 ^{ns}	2,29 ^{ns}	4,02**	1,30 ^{ns}	1,44 ^{ns}	12,13**	
CV (%)	11	104	155	75	75	47	6	
Tratamentos								
CC	95,33a	0,50b	0,26b	0,30b	0,43b	0,17	7,51a	95,01 a
EU15	74,51b	3,70a	6,85a	6,52a	2,86 ^a	0,79	5,75b	65,47 d
EU2	83,73a	0,83b	0,84b	1,33b	2,20 ^a	0,45	5,77b	76,19 c
PAST	89,43a	2,48ab	1,59b	2,00b	1,44ab	0,64	6,00b	85,09 b
Profundidades (m)								
0,00 - 0,05	90,59a	0,78b	0,63b	1,04b	1,13	0,21	7,71a	
0,05 - 0,10	88,15ab	1,98ab	2,21ab	2,74a	1,83	0,62	6,03b	
0,10 - 0,30	82,26b	2,89a	4,31a	3,83a	2,25	0,71	5,02c	

Médias seguidas de mesma letra, por coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey para P < 0,05. ^{ns}= não significativo; ** e * significativo a 1 e 5 % respectivamente. CC=Cerrado conservado; EU15= Eucalipto reflorestamento 15 anos; EU2= Eucalipto 2 anos; PAST= Pastagem.

Os macroagregados de menor diâmetro (1,0 - 0,50 e 0,50 - 0,25 mm) predominaram no EU15 (Tabela 6), comparado aos demais, sugerindo que os agregados maiores (> 2,0 mm) e de menor estabilidade se subdividiram em agregados menores, como descrito por Six et al. (2000). Estes autores confirmam que a menor estabilidade dos macroagregados pode indicar comprometimento na qualidade do solo, a qual está diretamente relacionada à redução do teor de CO (Tabela 8) (ALVES; SUZUKI e SUZUKI, 2007; NICHOLS e TORO, 2011; BAST et al., 2014). Este comportamento é ratificado pela presença de microagregados < 0,105 mm, os quais, por possuírem maior estabilidade, não foram influenciados pelo uso do solo.

PAGLIARINI; MENDONÇA e ALVES et al. (2012) encontraram resultados semelhantes em Latossolo Vermelho, e afirmaram que os microagregados são mais estáveis que os macroagregados, sendo os últimos mais susceptíveis ao manejo.

Tabela 7. Valores médios de areia (%) presente nos agregados, por sistemas de uso, para as diferentes profundidades e diâmetros (mm).

Profundidades (m)	Diâmetro dos agregados (mm)					
	> 2,0	2,0 - 1,0	1,0 - 0,5	0,5 - 0,25	0,25 - 0,105	0,105 - 0,053
----- CC -----						
0,00 - 0,05	67,58	86,78	95,83	95,45	93,92	94,12
0,05 - 0,10	66,87	46,55	77,49	90,00	98,58	88,73
0,10 - 0,30	69,64	72,08	65,40	97,30	97,87	83,33
----- EU15 -----						
0,00 - 0,05	70,33	86,58	85,10	90,61	96,36	95,56
0,05 - 0,10	73,63	89,94	86,89	89,57	91,34	100,00
0,10 - 0,30	69,40	88,22	85,12	90,67	94,09	94,47
----- EU02 -----						
0,00 - 0,05	75,38	93,35	80,83	95,98	94,52	96,88
0,05 - 0,10	74,97	84,43	81,28	92,57	94,56	93,65
0,10 - 0,30	74,64	88,08	90,16	93,33	96,82	97,83
----- PAST -----						
0,00 - 0,05	70,33	92,31	94,83	97,76	99,21	75,00
0,05 - 0,10	70,35	89,31	88,23	91,87	96,54	87,41
0,10 - 0,30	69,76	92,17	92,93	91,81	97,14	91,67

CC=Cerrado conservado; EU15= Eucalipto reflorestamento 15 anos; EU02= Eucalipto 2 anos; PAST= Pastagem.

O solo de ocorrência nas áreas avaliadas apresenta textura média-arenosa (Tabela 7), o que pode ter produzido macroagregados de menor estabilidade e microagregados estáveis. Esta maior estabilidade, porém, se deve à presença de grãos simples, de tamanho areia, o que confere maior resistência e ausência de resposta aos sistemas de uso do solo (Figura 6), porém com indicativos de recobrimento, sugerindo que estes faziam parte dos agregados maiores e sua maior estabilidade envolve, também, a quantidade de areia presente, que neste solo supera os 80 % (Tabela 7).

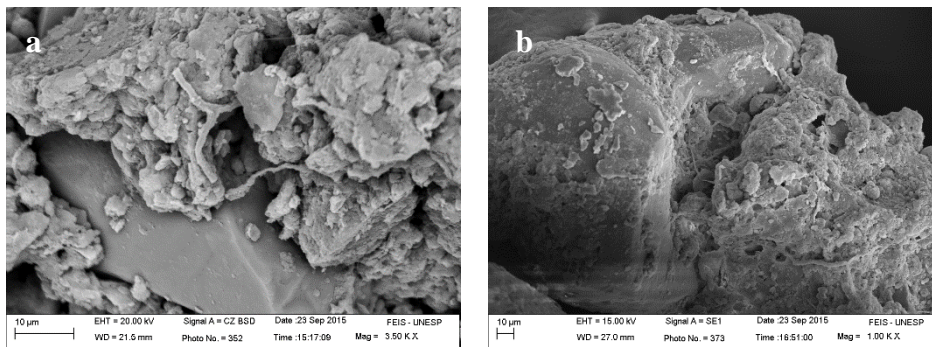
Em relação às profundidades, os agregados > 2mm exibiram maior estabilidade na camada de 0,0 - 0,05 m, onde o contato com os resíduos culturais e o aporte de CO é maior em relação às camadas mais profundas (MULUMBA e LAL, 2008; BARRETO et al., 2006, 2009; MARTINS et al., 2009; GUAN et al., 2015), corroborando com os maiores conteúdos de CO observados (Tabela 8), e reafirmando a importância deste na manutenção da estabilidade dos agregados (SALTON et al., 2008).

Tabela 8. Desdobramento da interação entre Sistemas de manejo x Profundidade (Prof), para carbono orgânico (CO), por profundidade e sistema de manejo.

Sistemas de Manejo	Carbono Orgânico (g kg ⁻¹)			
	Profundidades (m)			
	0,00 - 0,05	0,05 - 0,10	0,10 - 0,30	0,00 - 0,30
CC	10,01Aa	6,92Ab	5,60Ac	122,12**
EU15	7,41Ba	5,47Bb	4,37Bc	56,547**
EU2	6,44Ca	5,92Ba	4,95Bb	13,698**
PAST	6,99BCa	5,82Bb	5,17ABb	20,294**
Valores de F	59,71**	9,234**	6,276**	
	Diâmetro de Agregados 0,50 – 0,25 mm			Valores de F
CC	0,4Aa	0,3Ca	0,3Ca	0,003 ^{ns}
EU15	0,7Ac	7,6Ab	10,0Aa	18,078**
EU2	1,1Aa	1,9Ba	1,4Ba	0,382 ^{ns}
PAST	2,0Aa	1,3Ba	3,7Ba	2,243 ^{ns}
Valores de F	0,596 ^{ns}	11,830**	20,347**	

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey para $P < 0,05$. ^{ns}= não significativo; ** e * significativo a 1 e 5 % respectivamente. CC=Cerrado conservado; EU15= Eucalipto com 15 anos; EU2= Eucalipto com 2 anos; PAST= Pastagem.

Figura 6. Imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) dos agregados com diâmetro 0,50 - 1,00 mm, na profundidade de 0,0 - 0,05 m, nos tratamentos: a- CC 1,00 - 0,50 mm; b- EU15 1,00 - 0,50 mm).



Fonte: Próprio autor.

A presença de macroagregados está associada positivamente aos conteúdos de matéria orgânica do solo (DE GRYZE et al., 2008; SALTON et al., 2008; ANDERS et al., 2010), como observado para os agregados do CC (Figuras 7 a). Estes protegem o solo contra a degradação e erosão pela água da chuva, sobretudo em zonas tropicais e subtropicais (BAYER et al., 2006; NOELLEMAYER et al., 2008) e diminuem a taxa de decomposição da matéria orgânica, devido à proteção física e química (FERREIRA et al., 2007; SALTON et al., 2008; COSTA JR et al., 2012).

Com menores teores de carbono que o CC (Tabela 8), a PAST apresentou agregados > 2mm em proporções semelhantes ao solo sob CC e EU2, sugerindo dinâmica de agregação e incorporação de carbono diferenciada, o que pode ser atribuído ao sistema radicular abundante e de rápido crescimento, como o das gramíneas. Estas são capazes de agrupar fisicamente as partículas de solo e manter sua agregação, pois a presença de raízes estimula a atividade microbiana, aumentando a quantidade de exsudatos que atuam como agentes de agregação do solo (DENEFF; SIX, 2005; BRONICK; LAL, 2005; SALTON et al., 2008). Possibilidade esta corroborada por Salton et al. (2008), ao afirmarem que a formação dos macroagregados está relacionada principalmente a presença de raízes, que são mais abundantes em pastagem.

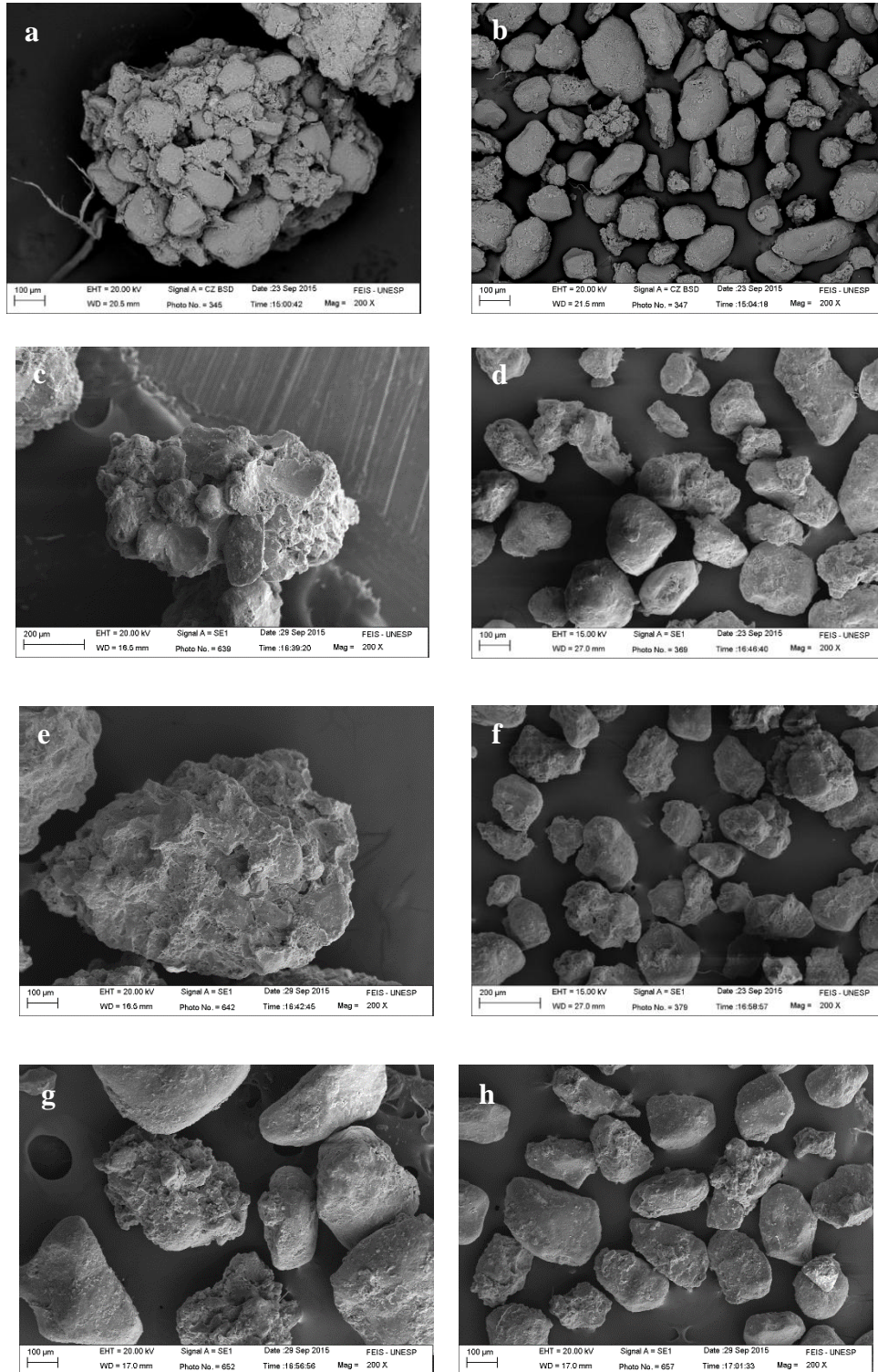
Cabe considerar, também, que os grãos de areia verificados na PAST apresentaram dimensões semelhantes aos agregados com diâmetro 0,05 - 1,00 mm (Figura 7 g), contribuindo para explicar a estabilidade destes (0,05 - 1,00 mm) no solo mais degradado (pastagem).

Diante da importância do CO, observou-se nesse trabalho que os maiores teores de CO ocorreram no solo sob CC, seguido das demais áreas (EU2, EU15 e PAST), as quais não diferiram entre si (Tabela 8). Plantações florestais de eucalipto mostram maior potencial de incorporação de carbono ao solo do que áreas de uso agrícola, devido à maior biomassa depositada anualmente na forma de manta orgânica e de raízes mortas (SILVA et al., 2012).

Nessas áreas, entretanto, o teores de CO foram menores que no CC, indicando que nem os 15 anos de reflorestamento produziram incrementos significativos em CO nesta área de solo arenoso. Estes resultados sugerem que outras ações, como incorporação de resíduos, integração silvo pastoril, manejo conservacionista mais efetivo, deveriam ser conduzidas para elevar o teor de CO do solo.

A tendência do solo sob sistemas de uso conservacionista em atingir valores similares de CO aos de área nativa vem sendo reportada (SIX et al., 2000; PINHEIRO; PEREIRA; ANJOS, 2004; MADARI et al., 2005; BARRETO et al., 2009), porém o EU2 (cultivo mínimo) e EU15 (reflorestamento) ainda não atingiram este resultado. Por outro lado, os menores teores de CO nessas áreas demonstram o impacto negativo ocorrido no solo após a conversão da vegetação natural em sistemas de cultivo comercial, podendo ter acarretado menor ciclagem de nutrientes nessas áreas.

Figura 7. Imagens obtidas em microscopia eletrônica de varredura (MEV) dos agregados com diâmetro 0,50 - 1,00 mm e 0,05 - 0,10 mm, na profundidade de 0,0 -0,05 m, nos diferentes tratamentos (a- CC: 0,50 -1,00 mm; b- CC: 0,05 - 0,10 mm; c- EU15: 0,50 - 1,00 mm;



Fonte: Próprio autor

Este impacto pode ter sido facilitado pela presença de, pelo menos, 700 g kg^{-1} de areia encontrada nesses solos (Tabela 7), o que facilita a remoção de sílica e bases, bem como de coloides orgânicos. Na região Mediterrânea, os baixos pH e teor de CO dos solos foi atribuído à sua textura arenosa e franco arenosa (PARRAS-ALCÁNTARA; DÍAZ-JAIMES; LOZANO-GARCÍA, 2015).

A matéria orgânica do solo é aceita como agente de formação e estabilização dos agregados do solo (SIX et al., 2004; MULUMBA; LAL, 2008; NOELLEMEYER et al., 2008), e seu aumento deveria ser prioridade, não somente para o sequestro de carbono, mas também para melhorar qualidade, fertilidade, ciclagem de nutrientes e estabilidade da estrutura do solo (LI et al., 2007; BARRETO et al., 2009). A fração orgânica dos solos, quando sob uso agrícola, não apresenta a mesma estabilidade das frações minerais, assim, a utilização intensiva do solo com sistemas de cultivos inadequados contribui para a degradação do mesmo (CUNHA et al., 2012), o que se atribui ao manejo do solo, o qual reduz a estabilidade de agregados como consequência das perdas de CO, o que aumenta a densidade e reduz a porosidade, como observado neste trabalho.

Os teores de CO e o EstC (Tabelas 8 e 9) foram influenciados pela profundidade do solo. Os maiores teores de CO foram observados na camada mais superficial de todos os tratamentos, com redução do mesmo em profundidade. Este fato é corroborado por outros autores (ARRUDA et al., 2015; COSTA JR et al., 2012; GUARESCHI; PEREIRA; PERIN, 2012; GUAN et al., 2015) ao relatarem que o conteúdo de CO do solo é maior próximo da superfície, devido aos aportes de matéria orgânica ocorridos via cobertura vegetal.

O CC apresentou o maior EstC (Tabela 9) na camada de 0,00 - 0,30 m e em todas as subcamadas avaliadas (0,00 - 0,05 e 0,05 - 0,10 m). A similaridade no EstC entre as áreas de CC e PAST, nas profundidades de 0,05 - 0,10 e 0,10 - 0,30 decorre do aporte de resíduos vegetais via sistema radicular das gramíneas.

Embora com menores valores de EstC em profundidade, vale comentar que este tem maiores chances de permanecer no solo por mais tempo, justamente por se encontrar em maiores profundidades, onde o solo permanece preservado por receber menor influência das ações antrópicas, aplicadas à superfície.

Os tratamentos indicam redução no estoque de carbono em profundidade e, se comparado ao CC, é da ordem de 35,04; 39,80 e 20,68 % na profundidade de 0,00 - 0,05 m, para EU15, EU2 e PAST, respectivamente. Para a camada de 0,05 - 0,10 m, as reduções foram menores, com 32,53; 18,97 e 13,05 % e de 0,10 - 0,30 m com 28,96; 11,59 e 5,26 %, na mesma ordem. Guan et al. (2015), também verificaram redução no estoque de carbono na

conversão de vegetação natural em áreas de cultivo comercial variando de 23 - 34 %, corroborando as observações feitas.

Tabela 9. Estoque de Carbono Orgânico (EstC) e desdobramento de estoque de carbono orgânico (EstC), por sistema de manejo do solo, bem como Valores de F em três profundidades.

Sistemas de Manejo	EstC (Mg ha ⁻¹)			
	Profundidade (m)			
	0,00 - 0,05	0,05 - 0,10	0,10 - 0,30	0,00 - 0,30
CC	69,57a	51,86a	163,61a	285,04a
EU15	45,19bc	34,99c	116,23c	196,06d
EU2	41,88c	42,02ab	144,65b	228,57c
PAST	55,18b	45,09ab	155,00ab	255,28b
Valores de F	12,90**	4,53**	38,60**	51,13**
Desdobramento	EstC (Mg ha ⁻¹)			
CC	69,57a	51,86A	163,60A	285,04A
EU15	45,19BC	34,99C	116,23C	196,06D
EU2	41,88C	42,02AB	144,65B	228,57C
PAST	55,18B	45,09AB	155,00AB	255,28B
Valores de F	12,90**	4,53**	38,60**	51,13**

Nota: Médias seguidas de mesma letra, por coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey para $P < 0,05$. ^{ns}= não significativo; ** e * significativo a 1 e 5 % respectivamente. CC=Cerrado conservado; EU15= Eucalipto reflorestamento 15 anos; EU2= Eucalipto 2 anos; PAST= Pastagem.

Fonte:Próprio autor

Os valores do EstC observados na maior profundidade (Tabela 9), representam uma camada de 0,20 m de espessura, enquanto nas camadas superiores é de apenas a 0,05, o que equivaleria em média a 40,90 Mg ha⁻¹ no CC; 29,06 Mg ha⁻¹ no EU15; 36,16 Mg ha⁻¹ no EU02 e 38,75 Mg ha⁻¹ na PAST, indicando, sim, redução desse em profundidade. Analisando a camada de 0,00 - 0,30 m como um todo, os tratamentos são diferentes do ponto de vista estatístico. O CC apresenta maior estoque de carbono (285,04 Mg ha⁻¹), sucedido por PAST, EU2 e EU15, respectivamente, sendo estes valores maiores dos que os relatados por Sisti et al. (2004), Fernandes e Fernandes et al. (2013), sob vegetação nativa de cerrado antropizado (66,55 Mg ha⁻¹), em pastagem de longa duração não degradada (55,85 Mg ha⁻¹), pastagem de longa duração degradada (56,10 Mg ha⁻¹), todos para a camada de 0,00 - 0,30 m.

Conforme observado por Silva et al. (2008), a substituição da vegetação nativa pela pastagem e a retirada desta para implantação do eucalipto ocasionaram redução no estoque de carbono, no entanto, em segunda rotação/ciclo, o eucalipto cultivado sob reforma permitiu

recuperação do estoque de carbono, promovendo incrementos devido ao manejo e uso do solo, comportamento não observado no presente estudo.

Cabe citar que parte deste carbono orgânico é facilmente mineralizado, enquanto uma parte é reconhecida por degradar-se mais lentamente, permanecendo no solo por centenas ou milhares de anos (OADES, 1995). Este carbono desempenha importante papel na formação e atributos dos solos, e o solo contém mais carbono do que as quantidades totais deste presente na vegetação e na atmosfera, apresentando-se, portanto, como o mais importante reservatório de carbono e, acima de tudo, como um eficiente estabilizador do mesmo (OADES, 1995; SWIFT, 2001; SCHMIDT et al., 2011).

Trabalhos de pesquisa realizadas nesse mesmo contexto têm reportado que a conversão do Cerrado em áreas cultivadas e pastagens conduz à redução do CO e do estoque de carbono do solo (SILVA et al., 2004; SIQUEIRA NETO et al., 2009; KASCHUK; ALBERTON; HUNGRIA, 2010; GUAN et al., 2015), fato observado nestes tratamentos. A partir dos dados apresentados, pode-se atribuir a condição de degradado ao solo que apresenta, em conjunto, menor porosidade total, menor macroporosidade, maior densidade, menor CO e EstC quando compara-se o CC com PAST, EU2 e EU15 que podem, portanto ser considerados degradados.

4.3 Atributos Microbiológicos do solo

Analisando os dados microbiológicos do solo (Tabela 10), nota-se que CBM, C-CO₂ liberado e qCO_2 foram influenciados pelos SM, demonstrando a forte influência que a cobertura vegetal tem sobre a atividade dos micro-organismos, como também foi observado por Souza et al. (2006), Fernandes et al. (2012) e Melloni et al. (2008). Variações em profundidade ocorreram apenas para CBM e C-CO₂ liberado, variáveis para as quais as interações SM e Prof também foram significativas, possivelmente devido ao aporte de material orgânico diferenciado em cada sistema de manejo e em cada profundidade, decorrente das diferentes coberturas vegetais e respectivos sistemas radiculares, em cada área (espécies nativas, eucalipto e pastagem).

Fernandes et al. (2012) observaram maior taxa de CBM sob cerrado nativo, o que foi atribuído ao comportamento reflexo entre a comunidade microbiana do solo e o fornecimento contínuo de matéria orgânica com diferentes resistências à decomposição, e destacam, também, a importância da diversidade de espécies vegetais presentes, resultados não alcançados neste trabalho, sugerindo que o cerrado pode não estar tão conservado. Em contra

partida, o menor valor de CBM para o CC pode indicar que este ambiente atingiu o equilíbrio, apresentando baixa atividade e/ou renovação biológica (ISLABÃO et al., 2011).

Tabela 10. Carbono da biomassa microbiana (CBM), Carbono liberado na respiração (C-CO₂ liberado) e Quociente metabólico (qCO_2) por sistema de manejo do solo (SM), por profundidade (Prof), e Valores de F.

Fontes de Variação	CBM ($\mu\text{g C g}^{-1}$ solo seco)	C-CO ₂ liberado ($\mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1}$ solo seco dia ⁻¹)	Quociente metabólico (qCO_2)
SM	26,918**	33,175**	36,718**
Prof	4,258*	45,375**	0,448 ^{ns}
SmxProf	3,480*	2,761*	1,477 ^{ns}
CV%	26	11	31
SM			
CC	13,01d	13,93a	1,11c
EU15	25,51b	8,91c	0,37a
EU2	21,03c	12,05b	0,61b
PAST	35,02a	13,20a	0,41a
Prof (m)			
0,00-0,05	27,03a	14,49a	0,66
0,05-0,10	23,14b	11,47b	0,59
0,10-0,30	20,07b	10,11c	0,62

Nota: CC =Cerrado Natural; EU15= Eucalipto reflorestamento 15 anos; EU2= Eucalipto 2 anos; PAST= Pastagem; ^{ns}= não significativo; ** e * significativo a 1 e 5 % respectivamente. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey para P< 0,05.

Fonte: Próprio autor

Os plantios de eucalipto fornecem apenas uma fonte de material formador de serrapilheira, com composição química de difícil decomposição pela biomassa microbiana (FERNANDES et al., 2012). A serrapilheira dos eucaliptos apresenta muita lignina, o que dificulta a penetração de micro-organismos decompositores pela parede celular, contribuindo, assim, para pequena decomposição (COSTA: GAMA-RODRIGUES; CUNHA, 2005). Contudo, para EU15 e EU2, os valores medianos de CBM mostram que a decomposição ocorre mais lentamente, porém está ocorrendo, fato atribuído ao SM empregado (cultivo mínimo), o qual influencia a atividade microbiana (ALCÂNTARA NETO et al., 2011).

Sistemas conservacionistas de preparo de solo, como o plantio direto e o cultivo mínimo, mantêm os resíduos na superfície, propiciando uma mineralização gradual e aumentando o carbono orgânico do solo (VARGAS e SCHOLLES, 2000). Consequentemente, maior quantidade de C, N, P e outros nutrientes ficam temporariamente

imobilizadas nas células microbianas, evitando perdas por lixiviação, fixação e outros (COLOZZI-FILHO; ANDRADE, BALOTA, 2001).

As alterações decorrentes da incorporação dos resíduos depositados à superfície do EU15, EU2 e da PAST, foram constatadas pelos maiores valores de CBM nestes manejos, concordando com Alvarez, Santanatoglia e Garcia (1995), ao afirmarem que a biomassa microbiana permite acompanhar, de forma mais rápida, as perturbações ocasionadas ao solo.

Ressalta-se que, o sistema radicular das gramíneas apresenta rápido desenvolvimento e renovação de órgãos vegetativos, aumentando a liberação de exsudatos, favorecendo o desenvolvimento e crescimento da população microbiana na rizosfera (MATSUOKA; MENDES; LOUREIRO, 2003), explicando, mesmo com outras características adversas (alta RP e densidade do solo) o desempenho para o CBM na PAST (Tabela 11).

Tabela 11. Desdobramento da interação sistemas de manejo (SM) e profundidade (Prof) para carbono da biomassa microbiana (CBM) e carbono liberado na respiração (C-CO₂-liberado).

	CBM ($\mu\text{g C g}^{-1}$ solo seco)			Valores F
	0,00-0,05	0,05-0,10	0,10-0,30	
CC	14,52c	12,71b	11,80b	0,204 ^{ns}
EU15	24,84b	22,86b	28,82a	0,978 ^{ns}
EU2	25,41b	18,33b	19,36b	1,556 ^{ns}
PAST	43,34aA	38,66aA	23,07aB	11,985 ^{**}
Valores F	15,253 ^{**}	12,230 ^{**}	5,412 ^{**}	
	C-CO ₂ ($\mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1}$ solo seco dia ⁻¹)			Valores F
	0,00-0,05	0,05-0,10	0,10-0,30	
CC	17,48aA	12,47aB	11,18aB	21,624 ^{**}
EU15	12,15cA	8,39bB	6,19bC	20,455 ^{**}
EU2	12,97bA	11,96a	11,22d	1,739 ^{ns}
PAST	15,36bA	13,06aB	11,83aB	9,841 ^{**}
Valores F	13,156 ^{**}	9,984 ^{**}	15,557 ^{**}	

Nota: Média seguida de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem significativamente entre si pelo Teste Tukey para 1% de probabilidade. CC=Cerrado conservado; EU15=Eucalipto com 15 anos; EU2= Eucalipto com 2 anos; PAST= Pastagem degradada.

Fonte: Próprio autor

A liberação de C-CO₂ decorrente da atividade microbiana do solo aponta o CC e o PAST como sendo os SM de melhor desempenho, diferindo significativamente dos demais, de maneira que a profundidade de 0,10-0,30m é a que apresenta a menor quantidade de CO₂ liberado e a profundidade de 0,00-0,05m a que apresenta o maior índice de liberação, confirmando que os primeiros centímetros do solo são biologicamente mais ativos (Tabela 11). Este resultado demonstra que ambos SM possuem baixa liberação de CO₂, favorecida

pela deposição de substratos orgânicos oxidáveis, contribuindo para a sobrevivência e o crescimento dos diferentes grupos de micro-organismos do solo (D'ANDRÉA et al., 2002).

Os menores teores de C-CO₂ liberado em comparação com as áreas de agricultura anual e perene foram observados por Silva et al. (2012), em áreas de pastagem e em três fragmentos florestais. A maior liberação de CO₂ pode estar relacionada à constante incorporação de resíduos de forma natural (serapilheira) e renovação do sistema radicular, promovendo alta atividade biológica sobre esse material (ISLABÃO et al., 2011), como é o caso do EU2, EU15 e PAST, que ainda não atingiram o equilíbrio (Tabela 11).

Alvarenga, Siqueira e Davide (1999), observaram que em plantios de eucalipto, a presença de substâncias com atividade antimicrobiana encontradas na serapilheira dificultam a sobrevivência e o crescimento dos diferentes grupos de microrganismos do solo, contribuindo, assim, para pequena decomposição e baixa liberação de C-CO₂ (COSTA; GAMA-RODRIGUES; CUNHA 2005).

Diante desses resultados, verifica-se a influência negativa dos sistemas agrícolas/silviculturas sobre os parâmetros analisados. Esse fato pode estar relacionado às menores taxas de deposição de material vegetal por esses sistemas, revolvimento do solo, tráfego de máquinas, entre outros que tem como consequência baixa incorporação de matéria orgânica no solo, podendo refletir em menores teores de COT e menor atividade biológica.

Por outro lado, o teores de COT nas áreas sob *Eucalipto* (EU2 e EU15) foram estimulados pelo fornecimento contínuo de materiais orgânicos com diferentes graus de suscetibilidade à decomposição, originados da vegetação, e assim beneficiados pelo não revolvimento do solo e pela reduzida erosão hídrica, proporcionada pela maior cobertura do solo advinda da serapilheira (CUNHA et al., 2012). A PAST, sob cobertura de gramíneas, que são plantas C4 e, devido à sua fisiologia, podem contribuir com maior aporte de carbono no solo (BARRETO et al., 2006), conforme observado.

O mesmo autor descreve que as áreas florestais em época de seca apresentam COT reduzido, sugerindo que nesse momento de estresse, os micro-organismos tenham utilizado (reduzido) o carbono para manter a atividade biológica (ISLABÃO et al., 2011).

O quociente metabólico (qCO_2) apresentou diferença significativa apenas para sistemas de manejo (Tabela 10). Os menores índices foram observados para PAST e EU15, seguido do EU2, e por fim, com maior valor o CC.

Segundo Tótola e Chaer (2002), quanto menor o quociente metabólico, maior é a economia na utilização de energia, além de indicar um ambiente mais estável ou mais próximo do seu estado de equilíbrio. Maiores valores de qCO_2 indicam maiores perdas de C

do sistema na forma de CO₂ por unidade de C microbiano (MELLONI et al., 2008). Segundo Martins et al. (2010), aumentos nos valores de qCO_2 estão relacionados à mineralização da biomassa microbiana. Dessa forma, observa-se que o padrão de resposta à mineralização dos sistemas de manejo do solo são diferentes entre si.

Ao analisar os dados químicos, físicos e microbiológicos encontrados é possível constatar que em solos com alto teor de areia, com áreas de vegetação natural tipo Cerrado Conservado convertidos em cultivos comerciais reduziram os teores de nutrientes do solo, causaram degradação nos atributos físicos do solo e interferiram negativamente na atividade microbiológica do solo, que apresentou indícios de estresse.

Assim sendo, o estudo sugere que a integração silvopastoril seja adotada nestas áreas de baixa fertilidade para que seja possível preservar a qualidade dos solos e manter a sustentabilidade do meio de modo produtivo economicamente.

5 CONCLUSÃO

O cerrado conservado apresentou maior teor de matéria orgânica devido à ausência de manejo, enquanto as demais áreas com menor valor não diferiram entre si.

O carbono orgânico foi maior na camada de solo de 0,00 - 0,05 m entre os sistemas de manejo, reforçando a influência da deposição de material vegetal na superfície, independente do sistema de manejo.

Os sistemas de uso do solo reduziram o carbono orgânico e o estoque de carbono, indicando degradação do solo, quando comparado ao CC.

O eucalipto com dois anos, mesmo tendo recebido calagem e adubação com NPK, após dois anos, não contém tais nutrientes, confirmando que a textura arenosa tem baixa capacidade de retenção e alto potencial de lixiviação de nutrientes.

A densidade do solo, porosidade total e resistência mecânica à penetração foram influenciados pelos sistemas de uso, tendo a pastagem apresentado a maior degradação.

Após 15 anos de introdução do eucalipto em área de pastagem, observam-se sinais de recuperação da densidade e da porosidade.

A pastagem e o eucalipto com dois anos exibem condições de macroporosidade e porosidade total restritivas ao desenvolvimento das plantas.

A análise da estabilidade de agregados em solos arenosos deve ser acompanhada de avaliação morfológica, pois o solo pode conter grãos de areia com tamanho de macroagregados, gerando interpretações equivocadas.

O carbono da biomassa microbiana (CBM), carbono liberado (C-CO₂ liberado) e quociente metabólico (qCO₂) foram influenciados pelos sistemas de manejo, comprovando que a cobertura vegetal exerce influência sobre a atividade dos micro-organismos e estes poderiam ser usados como indicadores de qualidade solo.

A liberação de carbono decorrente da atividade microbiana do solo aponta os tratamentos EU15 e CC como sendo os de melhor desempenho no que se refere a sustentabilidade e conservação do solo.

O estudo sugere que a integração silvopastoril seja adotada nestas áreas de baixa fertilidade para preservar a qualidade dos solos.

REFERÊNCIAS

- ABRAF–ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário Estatístico da ABRAF 2013**. Brasília, 2013. 148 p.
- ALCÂNTARA NETO, F.; LEITE, L.F.C.; ARNHOLD, E.; MACIEL, G.A.; CARNEIRO, F.V. Compartimentos de carbono em Latossolo Vermelho sob cultivo de eucalipto e fitofisionomias de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, n. 3, p. 849-856, 2011.
- ALVARENGA, M.I.N.; SIQUEIRA, J.O.; DAVIDE, A.C. Teor de carbono, biomassa microbiana, agregação e micorriza em solos de Cerrado com diferentes usos. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 23, p. 617-625, 1999.
- ALVAREZ, R.; SANTANATOGLIA, O.J.; GARCIA, R. Effect of temperature on soil microbial biomass and its metabolic quotient in situ under different tillage systems. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 19, n. 2-3, p. 227-230, 1995.
- ALVES, M.C.; SUZUKI, L.G.A.A.S.; SUZUKI, L.E.A.S. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico em recuperação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 4, p. 617-25, 2007;
- ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A.C.T.; SOUZA, L.C.F.; GONÇALVES, M.C.; CARVALHO, D. Infiltração de água no solo em sistemas de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Verde, v. 7, n. 6, p. 191-196, 2003.
- ALVES, M.C.; CABENA, M.S.V. Infiltração de água em um Podzólico Vermelho-Escuro sob dois métodos de preparo, usando-se chuva simulada com duas intensidades. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 4, p. 753-761, 1999.
- AN, S.; MENTLER, A.; MAYER, H.; BLUM, W.E.H. Soil aggregation, aggregate stability, organic carbon and nitrogen in different soil aggregate fractions under forest and shrub vegetation on the Loess Plateau, China. **Catena**, Amsterdam, v. 81, p. 226-233, 2010.
- ANDERS, M.M.; BECK, P.A.; WATKINS, B.K.; GUNTER, S.A.; LUSBY, K.S.; HUBBELL, D.S. Soil aggregates and their associated carbon and nitrogen content in winter annual pastures. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.74, n. 4, p. 1339-1347, 2010.
- ANDERSON, T.H.; DOMSCH, K.H. Determination of ecophysiological maintenance carbon requirements of soil microorganisms in a dormant state. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 1, n. 2, p. 81-89, 1985.
- ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic in arable soils. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 21, n. 4, p. 471-479, 1989.

ARRUDA, E.M.; ALMEIDA, R.F.; SILVA JUNIOR, A.C.; RIBEIRO, B.T.; SILVA, A.A.; LANA, R.M.Q. Aggregation and organic matter content in diferente tillage systems for sugarcane. **African Journal of Agricultural Research**, Victoria Island, v. 10, n. 4, p. 281-288, 2015.

ARSHAD, M.A.; MARTINS, S. Identifying critical limits for soil quality indicators in agroecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.88, n.2, p.153-160, 2002.

ARSHAD, M.A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Ed.). **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p. 123-141.

BALESDENT, J.; CHENU, C.; BALABANE, M. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 53, n. 3, p. 215-30, 2000.

BALESDENT, J.; BALABANE, M. Major contribution of roots to soil carbon storage inferred from maize cultivated soil. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford. v. 28, n. 9, p. 1261-1263, 1996.

BALIEIRO, F.C.; DIAS, L.E.; FRANCO, A.A.; CAMPELLO, E.F.C.; FARIA, S.M. Acúmulo de nutrientes na parte aérea, na serapilheira acumulada sobre o solo e decomposição de filódios de *Acacia mangium Willd.* **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 1, p. 59-65, 2004.

BALOTA, E.L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D.S.; HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 22, p. 641-649, 1998.

BARDGETT, R.D.; SAGGAR, S. Effect of heavy metal contamination on the short-term decomposition of labeled (14C) in a pasture soil. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 26, p. 727-733, 1994.

BARRETO, A.C.; LIMA, F.H.S.; FREIRE, M.B.G.S.; ARAÚJO, Q.R.; FREIRE, R.A. Características químicas e físicas de um solo sob floresta, sistema agroflorestal e pastagem no sul da Bahia. **Caatinga**, Mossoró, v. 19, n. 4, p. 415-425, 2006.

BARRETO, R.C.; MADARI, B.E.; MADDOCK, J.E.L.; MACHADO, P.L.O.A.; TORRES, E.; FRANCHINI, J.; COSTA, A.R. The impact of soil management on aggregation, carbon stabilization and carbon loss as CO₂ in the surface layer of a Rhodic Ferralsol in Southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 132, n. 3, p. 243-251, 2009.

BAST, A.; WILCKE, W.; GRAF, F.; LÜSCHER, P.; GÄRTNER, H. The use of mycorrhiza for ecoengineering measures in steep alpine environments: effects on soil aggregate formation and fine-root development. **Catena**, Amsterdam, v.39, n.13, p.1753–1763, 2014.

BASTOS, R.S.; MENDONÇA, E.S.; ALVAREZ, V.V.H.; CORRÊA, M.M.; COSTA, L.M. Formação e estabilização de agregados do solo influenciados por ciclos de umedecimento e secagem após adição de compostos orgânicos com diferentes características hidrofóbicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 1, p. 21-31, 2005.

BAVER, L.D.; GARDNER, W.H.; GARDNER, W.R. Soil structure: classification and genesis. In: BAVAR, L.D.; GARDNER, W.H.; GARDNER, W.R. (Eds.). **Soil Physics**. New York: John Wiley, 1972. p.130-177.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUC, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 86, n. 2, p. 237-245, 2006.

BERTOL, I.; BEUTLER, J.F.; LEITE, D.; BATISTELA, O. Propriedades físicas de um cambissolo húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 3, p. 555-560, 2001.

BISDOM, E.B.A.; DEKKER, L.W.; SCHOUTE, J.F.T.H. Water repellency of sieve fractions from sandy soils and relationships with organic material and soil structure. In: L. BRUSSAARD; KOOISTRA, M.J. (Ed.), Int. Workshop on Methods of Research on Soil Structure/Soil Biota Interrelationships. **Geoderma**, Amsterdam, v. 56, n. 1-4, p. 105-118, 1993.

BRANDÃO, A.A. **Dinâmica temporal do efluxo de CO₂ do solo em área de Cerrado no Pantanal Matogrossense**. 2012. 60 f. Dissertação (Mestrado em sistemas de produção) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2012.

BRANDÃO, S. L.; LIMA, S.C. pH e condutividade elétrica em solução do solo, em áreas de pinus e cerrado na chapada, em Uberlândia (MG). **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 3, n. 6, p. 46–56, 2002.

BRONICK, C.J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, Amsterdam, v. 124, n. 1, p.3-22, 2005.

BRUN, E. J. **Matéria orgânica do solo em plantios de *Pinus taeda* e *P. elliottii* em duas regiões do Rio Grande do Sul**. 2008, 118 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

CARVALHO, E. J. M.; FIGUEIREDO, M. S.; COSTA, L. M. Comportamento físico hídrico de um Podzóllico Vermelho-amarelo câmbico fase terraço sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, n. 2, p. 257-265, 1999.

CARVALHO, M.P.; SORATTO, R.P.; FREDDI, O.S. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho Distrófico sob preparo convencional em Selvíria, Estado de Mato Grosso do Sul. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1353-1361, 2002.

CARVALHO, M.P.; MENDONÇA, V.Z.; PEREIRA, F.C.B.L.; ARF, M.V.; KAPPES, C.; DALCHIAVON, F.C. Produtividade de Madeira do eucalipto correlacionada com atributo do solo visando ao mapeamento de zonas específicas de manejo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 10, p. 1797-1803, 2012.

CATTELAN, A.J.; GAUDÊNCIO, C.A.; SILVA, T.A. Sistemas de rotação de culturas em plantio direto e os microrganismos do solo, na cultura da soja, em Londrina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 21, n. 2, p. 293-301, 1997.

CERRI, C.C.; VOLKOFF, B.; EDUARDO, B.P. Efeito do desmatamento sobre a biomassa microbiana em Latossolo Amarelo da Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 9, n. 1, p. 1-4, 1985.

COLOZZI FILHO, A.; ANDRADE, D.S.; BALOTA, E.L. Atividade microbiana em solos cultivados em sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 1, p. 84-91, 2001.

CONCEIÇÃO, P.C.; AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 5, p. 777-788, 2005.

COSTA, G.S.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; CUNHA, G.M. Decomposição e liberação de nutrientes da serapilheira foliar em povoamentos de *Eucalyptus grandis* no Norte Fluminense. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 4, p. 563-570, 2005.

COSTA, F.S.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetada pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 3, p. 527-535, 2003.

COSTA JR, C.; PICCOLO, M.C.; SIQUEIRA NETO, M.; BERNOUX, M. Carbono em agregados do solo sob vegetação nativa, pastagem e sistemas agrícolas no bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n.1, p. 1-12, 2012.

CRUZ, D.L.S.; VALE JÚNIOR, J.F.; CRUZ, P.L.S.; CRUZ, A.B.S.; NASCIMENTO, P.P.R.R. Atributos físico-hídricos de um Argissolo amarelo sob floresta e savana naturais convertidas para pastagem em Roraima. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 38, n. 1, p. 307-314, 2014.

CUNHA, E.Q.; STONE, L.F.; FERREIRA, E.P.B.; DIDONET, A.D.; MOREIRA, J.A.A. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo sob produção orgânica impactados por sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Verde, v. 16, n. 1, p. 56-63, 2012.

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, MG, v. 1, n. 1, p. 27-36, 2001.

D'ANDRÉIA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; SIQUEIRA, J.O.; CARNEIRO, M.A.C. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do cerrado no sul do estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 26, n. 4, p.913-923, 2002.

DE GRYZE, S.; BOSSUYT, H.; SIX, J.; VAN MEIRVENNE, M.; GOVERS, G.; MERCKX, R. Factors controlling aggregation in a minimum and a conventionally tilled undulating field. **European Journal Soil Science**, Cranfield, v. 58, n. 5, p. 1017-1026, 2008.

DECAGON DEVICES. **Mini disk infiltrometer user's manual**. 9. ed. [S. l.: s. n.], 2007. 28 p.

DENEFF, K.; SIX, J. Clay mineralogy determines the importance of biological versus abiotic processes for macroaggregate formation and stabilization. **European Journal Soil Science**, Cranfield, v. 56, n. 4, p. 469-479, 2005.

DE-POLLI, H.; PIMENTEL, M. S. Indicadores de qualidade do solo. In: AQUINO, A.M.; ASSIS, R.L. (Ed.). **Processos biológicos no sistema solo-planta**: ferramentas para uma agricultura sustentável. Brasília, DF: Embrapa-SCT, 2005. p. 17-28.

DORAN, J.W. Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, n.4, p. 765-771, 1980.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA — EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 2011. 225 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA — EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília, DF, 2013. 353 p.

FARIA, G. E.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; SILVA, I.R. Características químicas do solo em diferentes distâncias do tronco de eucalipto e em diferentes profundidades. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 33, n. 5, p. 799-810, 2009.

FERNANDES, F.A.; FERNANDES, A.H.B.M. **Atualização dos métodos de cálculo dos estoques de carbono do solo sob diferentes condições de manejo**. Corumbá: Embrapa Pantanal. (Comunicado técnico, 2013).

FERNANDES, M.M.; CARVALHO, M.G.C.; ARAUJO, J.M.R.; MELO, F.R., SILVA, C. A.; SAMPAIO, F.M.T.; LOBATO, M.G.R. Matéria orgânica e biomassa microbiana em plantios de eucalipto no Cerrado piauiense. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 4, p. 453-459, 2012.

FERNÁNDEZ, R.; QUIROGA, A.; ZORATI, C.; NOELLEMEYER, E. Carbon contents and respiration rates of aggregate size fractions under no-till and conventional tillage. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 109, n. 2, p. 103-109, 2010.

FERREIRA, F.P.; AZEVEDO, A.C.; DALMOLIN, R.S.D.; GIRELLI, D. Carbono orgânico, óxidos de ferro e distribuição de agregados em dois solos derivados de basalto no Rio Grande do Sul- Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 2, p. 381-388, 2007.

FLORES, J.P.C.; ANGHINONI, I.; CASSOL, L.C.; CARVALHO, P.C.F.; LEITE, J.G.D.; FRAGA, T.I. Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema plantio direto em integração lavoura pecuária com diferentes pressões de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 4, p. 771-780, 2007.

FONTANA, A.; PEREIRA, M.G.; NASCIMENTO, G.B.N.; ANJOS, L.H.C.; EBLING, A.G. Matéria orgânica em solos e tabuleiros na Região Norte Fluminense-RJ. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 114-119, 2001.

FREDDI, O.S.; CARVALHO, M.P.; CARVALHO, G.J; VERONESE JUNIOR, V. Produtividade do milho relacionada com a resistência mecânica à penetração do solo sob preparo convencional. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p.113-121, 2006.

FREITAS, R.A. **Estudo da biomassa e do conteúdo de nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden plantado em solo sujeito a arenização, no município de Alegrete-RS**. 2000. 60 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

GAMA-RODRIGUES, E.F.; BARROS, N.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; SANTOS, G.A. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 6, p. 393-901, 2005.

GAMA-RODRIGUES, A.C.; BARROS, N.F. Ciclagem de nutrientes em floresta natural e em plantios de eucalipto e de dandá no sudeste da Bahia, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 26, n. 2, p. 193- 207, 2002.

GAMA-RODRIGUES, E. F. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistema tropicais e subtropicais**. Seropédica: UFRRJ, 1999. 108 p.

GAVANDE, S.A. **Física del suelos: principios y aplicaciones**. Ciudad del México: Editorial Limusa, 1976. 351 p.

GENRO JÚNIOR, S.A.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um Latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 3, p. 477-484, 2004.

GERALDES, A.P.A.; CERRI, C.C.; FEIGL, B.J. Biomassa microbiana de solo sob pastagens na Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 19, p. 55-60, 1995.

GERHARDT, E.J. **Influência dos fatores físicos do solo e dos nutrientes da serapilheira sobre o crescimento em altura da *Araucária angustifolia* (Bert.) Otto Kuntze**. 1999. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1999.

GIAROLA, N.F.B.; TORMENA, C.A.; DUTRA, A.C. Degradação física de um Latossolo Vermelho utilizado para produção intensiva de forragem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 5, p. 863-873, 2007.

GONÇALVES, J.L.M; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2005. 427 p.

GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. 498 p.

GUAN, F.; TANG, X.; FAN, S.; ZHAO, J.; PENG, C. Changes in soil carbon and nitrogen stocks followed the conversion from secondary forest to Chinese fir and Moso bamboo plantations. **Catena**, Amsterdam, v. 133, n. 22, p. 455-460, 2015.

GUARESCHI, R.F.; PEREIRA, M.G.; PERIN, A. Deposição de resíduos vegetais, matéria orgânica leve, estoques de carbono e nitrogênio e fósforo remanescente sob diferentes sistemas de manejo no cerrado goiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 36, n. 3, p. 909-920, 2012.

GUIMARAES, C.C.; FLORIANO, E.P.; VIEIRA, F.C.B. Limitações químicas ao crescimento inicial de *Eucalyptus saligna* em solos arenosos do Pampa Gaúcho: estudo de caso. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 7, p. 1183-1190, 2015.

HASSE, G. **Eucalipto: histórias de um imigrante vegetal**. Porto Alegre: JÁ Editores, 2006. 127 p.

HILLEL, D. **Fundamentals of soil physics**. New York: Academic, 1980. 413 p.

HOUGHTON, R.A.; GOODALE, C.L. Effects of land-use change on the carbon balance of terrestrial ecosystems. In: DEFRIES, R.S.; ASNER, G.P.; HOUGHTON, R.A. (Ed.). **Ecosystems and Land Use Change**. Washington: American Geophysical Union, 2004. p. 85-98. (Geophysical Monograph Series, n.153)

INSAM, H.; DOMSCH, K.H. Relationship between soil organic carbon and microbial biomass on chronosequences of reclamation sites. **Microbial Ecology**, Oxford, v. 15, n. 1, p. 177-188, 1988.

INSAM, H.; MITCHELL, C.C.; DORMAAR, J.F. Relationship of soil microbial biomass and activity with fertilization practice and crop yield of three ultisols. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 23, n.5, p. 459-464, 1991.

ISLABÃO, G.O.; TIMM, L.C.; CASTILHOS, D.D.; PRESTES, R.B.; BAMBERG, A.L. **Carbono da biomassa e atividade microbiana em solos cultivados com morango no município de Turuçu/RS**. Pelotas: UFPEL, 2015. Disponível em: <http://www.ufpel.edu.br/cic/2008/cd/pages/pdf/CA/CA_00507.pdf>. Acesso em 15 de dezembro de 2015.

JANZEN, H.H.; CAMPBELL, C.A.; BRANDT, S.A.; LAFOND, G.P.; TOWNLEY-SMITH, L. Light-fraction organic matter in soils from long-term crop rotations. **Soil Science Society of America**, Madison, v. 56, n. 1, p. 1799-1806, 1992.

JORGE, J.A. **Física e manejo dos solos tropicais**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1985. 328 p.

KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 42, n. 1, p. 1-13, 2010.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: relações solo-planta**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 264p.

KLEIN, V.A. **Física do solo**. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2008. 212 p.

KRAMER, C.; TRUMBORE, S.; FRÖBERG, M.; CISNEROS DOZAL, L.M.; ZHANG, D.; XU, X.; SANTOS, G.M.; HANSON, P.J. Recent (4 years old) leaf litter is not a major source of microbial carbon in a temperate forest mineral soil. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 42, n. 7, p. 1028-1037, 2010.

KUZYAKOV, Y. Priming effects: interactions between living and dead organic matter. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 42, n. 9, p. 1363-1371, 2010.

LEÃO T.P. **Intervalo hídrico ótimo em diferentes sistemas de pastejo e manejo da pastagem**. 2002. 58 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2002.

LEITE, P.B.; ALVAREZ V.H.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L.; GUARÇONI, A.M.; ZANÃO JÚNIOR, L.A.R. Níveis críticos de fósforo, para eucalipto, em casa de vegetação, em função da sua localização no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n.1, p.1311-1322, 2009.

LI, X.G.; WANG, Z.F.; MA, Q.F.; LI, F.M. Crop cultivation and intensive grazing affect organic C pools and aggregate stability in arid grassland soil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 95, n. 1, p. 172-181, 2007.

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, MG, v. 32, n. 2, p. 1053-1063, 2008.

LIMA, W.P. **Impacto ambiental do eucalipto**. 2. ed. São Paulo: Ed. da Universidade de São Paulo, 1996. 301 p.

LOPES, A.S.; WIETHÖLTER, S.; GUILHERME, L.R.G.; SILVA, C.A. **Sistema plantio direto**: bases para o manejo da fertilidade do solo. São Paulo: ANDA, 2004. 110 p.

LUNDEGARDH, H. Carbon dioxide evolution of soil in crop growth. **Soil Science**, Madison, v. 23, n.6, p. 417-453, 1927.

MACHADO, P.L.O.A.; CAMPOS, A.C.; SANTOS, F.S. **Método de preparo de amostras e de determinação de Carbono em solos tropicais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003.

MADARI, B.E.; MACHADO, P.L.O.A.; TORRES, E.; ANDRADE, A.G.; VALENCIA, L.I.O. No tillage and crop rotation effects on soil aggregation and organic carbon in a Rhodic Ferralsol from southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 80, n. 1, p. 185-200, 2005.

MADEIRA, M.; PEREIRA, J.S. Productivity, nutrient immobilisation and soil chemical properties in Eucalyptus globulus plantation under different irrigation and fertilisation regimes. **Water, Air and Soil Pollut**, Dordrecht, v. 54, p. 621-634, 1991.

- MARTÍNEZ, L.J.; ZINCK, J.A. Temporal variation of soil compaction and deterioration of soil quality in pasture areas of Colombian Amazonia. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 75, n. 1, p. 3-17, 2004.
- MARTINS, M.R.; CORA, J.E.; JORGE, R.F.; MARCELO, A.V. Crop type influences soil aggregation and organic matter under no-tillage. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 104, n. 1, p. 22-29, 2009.
- MARTINS, C.M.; GALINDO, I.C.L.; SOUZA, E.R.; POROCA, H.A. Atributos químicos e microbianos do solo de áreas em processo de desertificação no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, n. 6, p. 1883-1890, 2010.
- MATSUOKA, M.; MENDES, L.C.; LOUREIRO, M.F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 7, n. 3, p. 425-433, 2003.
- MELLONI, R.; MELLONI, E.G.P.; ALVARENGA, M.I.N.; VIEIRA, F.B.N. Avaliação da qualidade de solos sob diferentes coberturas florestais e de pastagem no sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 6, p. 2461-2470, 2008.
- MENDES, I.C.; HUNGRIA, M.; REIS-JUNIOR, F.B.; FERNANDES, M.F.; CHAER, G.M.; MERCANTE, F.M.; ZILLI, J.E. **Bioindicadores para avaliação da qualidade dos solos tropicais: utopia ou realidade?** Planaltina: Embrapa Cerrados, 2009. 31 p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 246).
- MERCADANTE, E.; URIBE-OPAZO, M.A.; SOUZA, E.G. Variabilidade espacial e temporal da resistência mecânica do solo à penetração em áreas com e sem manejo químico localizado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 6, p. 1149-1159, 2003.
- MERCANTE, F.M. **Biomassa e a atividade microbiana**: indicadores da qualidade do solo. [S. l.]: Direto no Cerrado, 2001.
- MIRANDA, C. C. **Caracterização da matéria orgânica do solo em fragmentos de Mata Atlântica e em plantios abandonados de eucalipto, Reserva Biológica União-RJ**. 2005. 82 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2005.
- MIRANDA, G.M.; SILVA, M.L.; LEITE, H.G.; MACHADO, C.C. Estimativa do custo de reposição dos nutrientes exportados pela colheita da casca da madeira em povoamentos de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 26, p. 149-154, 2002.
- MONTANARI, R.; CARVALHO, M.P.; ANDREOTTI, M.; DALCHIAVON, F.C.; LOVERA, L.H.; HONORATO, M.A.O. Aspectos da produtividade do feijão correlacionados com atributos físicos do solo sob elevado nível tecnológico de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, n. 6, p. 1811-1822, 2010.

MONTANARI, R.; PEREIRA, G.T.; MARQUES JÚNIOR, J.; SOUZA, Z.M.; PAZETO, R.J.; CAMARGO, L.A. Variabilidade espacial de atributos químicos em Latossolo e Argissolos. **Ciência Rural**, Santa Maria, MG, v. 38, n. 5, p. 1266-1272, 2008.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2006. 626 p.

MULUMBA, L.N.; LAL, R. Mulching effects on select soil properties. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 98, n. 1, p. 106-111, 2008.

MUZILLI, O. **Manejo da matéria orgânica no sistema plantio direto: a experiência no Estado do Paraná**. Informações Agronômicas, Piracicaba: POTAFÓS, n.100, p.6-10, 2002.

NEVES, C.M.N.; SILVA, M.L.N.; CURTI, N.; CARDOSO, E.L.; MACEDO, R.L.G.; FERREIRA, M.M.; SOUZA, F.S. Atributos indicadores da qualidade do solo em sistema agrossilvopastoril no noroeste do estado de Minas Gerais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.74, n. 2, p. 45-53, 2007.

NICHOLS, K.A.; TORO, M.A. whole soil stability index (WSSI) fore valuating soil aggregation. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam. v.111, n.2, p.99–104, 2011.

NIMMO, J.R.; PERKINS, K.S. Aggregate stability and size distribution. In: DANE, J. H.; TOPP, G. C. (Ed.). **Methods of soil analysis**, Part 4., Physical methods: Madison: SSSA; 2002. p. 317-28.

NOELLEMAYER, E.; FRANK, F.; ALVAREZ, C.; MORAZZO, G.; QUIROGA, A. Carbon contents and aggregation related to soil physical and biological properties under a land-use sequence in the semiarid region of central Argentina. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 99, n. 2, p. 179-190, 2008.

NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L. Interpretação de análise química do solo para o crescimento e desenvolvimento de *Eucalyptus* spp. – níveis críticos de implantação e de manutenção. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 10, n. 1, p. 105-111, 1986.

OADES, J.M. An overview of process affecting the cycling of organic carbon in soils: In: ZEPP, R.G.; SONNTAG, C. ed. **Role of nonliving organic matter in earth's carbon cycle**. New York: John Wiley and Sons Ltd, 1995. p. 293-324.

OADES, J.M.; WATERS, S.G. Aggregate hierarchy in soils. **Australian Journal of Agricultural Research**, Malden, v. 29, n. 6, p. 815-828, 1991.

PADUA, T.R.P.; SILVA, C.A.; MELO, C.A.; LEÔNIDAS, C.A. Calagem em latossolo sob influência de coberturas vegetais: neutralização da acidez. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, n. 5, p. 869-878, 2006.

PAGLIARINI, M.K.; MENDONÇA, V.Z.; ALVES, M.C. Distribuição de tamanho de agregados estáveis em água em solos de Selvíria-MS e Ilha Solteira-SP, Brasil. **Tecnologia e Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v. 6, n.1, p. 45-51, 2012.

PANKHURST, C.E.; HAWKE, B.G.; MCDONALD, H.J.; KIRKBY, C.A.; BUCKERFIELD, J.C.; MICHELSON, P.; O'BRIEN, K.A.; GUPTA, V.V.S.R.; DOUBE, B.M. Evaluation of soil biological properties as potential bioindicators of soil health. **Australian Journal of Agricultural Research**, Malden, v. 35, n. 7, p. 1015-1028, 1995.

PARR, J.F.; PAPENDICK, S.B.; HORNICK, S.B.; MEYER, R.E. Soil quality: attributes and relationship to alternative and sustainable agriculture. **American Journal of Alternative Agriculture**, Cambridge, v. 7, n. 1, p. 5-11, 1992.

PARRAS-ALCÁNTARA, L.; DÍAZ-JAIMES, L.; LOZANO-GARCÍA, B. Management effects on soil organic carbon stock in Mediterranean open rangelands-treeless grasslands. **Land Degradation & Development**, Cambridge, v. 26, n. 1, p. 22-34, 2015.

PAUSTIAN, K.; COLE, C.V.; SAUERBECK, D.; SAMPSON, N. CO₂ mitigation by agriculture: an overview. **Climate Change**, Australia, v. 40, n. 1, p. 135-62, 1998.

PAUSTIAN, K.; SIX, J.; ELLIOTT, E.T.; HUNT, H.W. Management options for reducing CO₂ emissions from agricultural soils. **Biogeochemistry**, New Hampshire, v. 48, n. 1, p. 147-163, 2000.

PEGORARO, R.F.; SILVA, I.R.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; FONSECA, S.; DAMBROZ, C.S. Estoques de carbono e nitrogênio nas frações da matéria orgânica em Argissolo sob eucalipto e pastagem. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 2, p. 261-273, 2011.

PINHEIRO, E.F.M.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C. Aggregate distribution and soil organic matter under different tillage systems for vegetable crops in a Red Latosol from Brazil. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 77, n. 1, p. 79-84, 2004.

PORFÍRIO DA SILVA, V. **Sistemas silvipastoris em Mato Grosso do Sul - Para que adotá-los?** In: Seminário Sistemas agroflorestais e desenvolvimento sustentável, Campo Grande: Embrapa, 2003.

PORTUGAL, A.F.; COSTA, O.D.V.; COSTA, L.M. Propriedades físicas e químicas do solo em áreas com sistemas produtivos e mata na região da Zona da Mata Mineira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, n. 2, p. 575-585, 2010.

PRIHA, O.; SMOLANDER, A. Fumigation-extraction and substrate-induced respiration derived microbial biomass C, and respiration rate in limed soil of Scots pine sampling stands. **Biological Fertility of Soils**, Amsterdam, v. 17, n. 4, p. 301-308, 1994.

PRITCHETT, W. L.; FISHER, R. F. **Properties and management of forest soils**. 2 ed. New York: John Wiley e Sons. 1987. 494 p.

PULROLNIK, K.; BARROS, N.F.; SILVA, I.R.; NOVAIS, R.F.; BRANDÃO N.I.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, MG, v. 33, n. 5, p. 1125-1136, 2009.

RAIJ, B.V. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Ceres; Piracicaba: POTAFOS, 1991. 343 p.

RAIJ, B.V.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285 p.

RANGEL, O.J.P.; SILVA, C.A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 6, p. 1609–1623, 2007.

RASSE, D.P.; RUMPEL, C.; DIGNAC, M.O. Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilization. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 269, n. 1-2, p. 341-356, 2005.

REICHARDT, K. **Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas**. 2. ed. Piracicaba: ESALQ, Depto. de Física e Meteorologia, 1996. 160 p.

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

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Revista Ciência & Ambiente**, Santa Maria, v. 28, p. 29- 48, 2003.

RESCK, D.V.S. O plantio direto como alternativa de sistema de manejo e conservação do solo e da água na região dos cerrados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30. 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. p. 1-21.

RESENDE, M.; CURTI, N.; REZENDE, S.B.; CORRÊA, S.A. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. 4. ed. Viçosa, MG: Neput, 2002. 338 p.

RIBEIRO, K.D.; MENEZES, S.M.; MESQUITA, M.G.B.F.; SAMPAIO, F.M.T. Propriedades físicas do solo influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras-MG. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 31, n. 4, p. 1167-1175, 2007.

ROSA, S.F. **Propriedades físicas e químicas de um solo arenoso sob o cultivo de Eucalyptus spp.** 2010. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P.C.; FABRÍCIO, 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 Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n.1, p. 11-21, 2008.

SAMPAIO, A.N. **Os eucaliptos no Brasil: o eucalipto e a ecologia**. Aracruz: Aracruz Celulose, 1975.

SANTANA, R.C. **Predição de biomassa e alocação de nutrientes em povoamentos de eucalipto no Brasil**. 2000. 56 f. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2000.

SANTOS, G.G.; MARCHÃO, R. L.; SILVA, E.M.; SILVEIRA, P.M.; BECQUER, T. Qualidade física do solo sob sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 46, n. 10, p. 1339-48, 2011.

SAS Institute Inc. 2002-2003. **Statistical analysis system**. Release 9.1. (Software). New York: Cary, 2003.

SCHLINDWEIN, J.A.; ANGHINONI, I. Variabilidade vertical de fósforo e potássio disponíveis e profundidade de amostragem do solo no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 4, p. 611-617, 2000.

SCHMIDT, M.W.I.; TORN, M.S.; ABIVEN, S.; DITTMAN, T.; GUGGENBERGER, G.; JANSSEN, I.A.; KLEBER, M.; KOGEL-KNABNER, I.; LEHMAN, J.; MANNING, D.A.E.; NANNIPIERI, P.; RASSE, D.P.; WEINER, S.; TRUMBORE, S.E. Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. **Nature**, London, v. 478, n. 7367, p. 49-56, 2011.

SCHUMACHER, M.V.; BRUN, E.J.; RODRIGUES, L.M.; SANTOS, E.M. Retorno de nutrientes via deposição de serapilheira em um povoamento de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 791-798, 2003.

SÉGUY, L.; BOUZINAC, S. O plantio direto no cerrado úmido. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 69, n. 1, p. 1-4, 1995.

SILVA, C.F.; PEREIRA, M.G.; MIGUEL, D.L.; FEITORA, J.C.F.; LOSS, A.; MENEZES, C.E.G.; SILVA, E.M.R. Carbono orgânico total, biomassa microbiana e atividades enzimáticas do solo de áreas agrícolas, florestais e pastagem – Processos e propriedades do solo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 36, n. 6, p. 1680-1689, 2012.

SILVA, C.G.; ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A.C.T.; CARVALHO, D.F. Atributos físicos, químicos e erosão entre sulcos sob chuva simulada, em sistemas de plantio direto e convencional. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 144-153, 2005.

SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S.; CORAZZA, E.J.; VIVALDI, L. Carbon storage under cultivated pastures in a clay Oxisol in the Cerrado Region, Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 103, p. 357-363, 2004.

SILVA, A.P. da. **Física do solo**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura - ESALQ, 2010. 49 p.

SILVA, A.P.; TORMENA, C.A.; FIDALSKI, J.; IMHOFF, S. Funções de pedotransferência para as curvas de retenção de água e de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 1, p. 1-10, 2008.

SILVA, A.S.; SILVA, I.F.; BANDEIRA, L.B.; DIAS, B.O.; SILVA NETO, L. F. Argila e matéria orgânica e seus efeitos na agregação em diferentes usos do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 10, p. 1783-1789, 2014.

SILVA, C.L.; KATO, E. Avaliação de modelos para previsão da infiltração de água em solos sob cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, MG, v. 33, n. 7, p. 1149-1158, 1998.

SILVA, C.S.W.; FALLEIRO, R.M.; SOUZA, C.M.; FAGUNDES, J.L.; SILVA, A.A.; SEDIYAMA, C.S. Influência de diferentes sistemas de preparo do solo sobre a cultura do feijão. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 7., 2000, Viçosa, MG. **Resumos...** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2002. p. 564-565.

SILVA, I.F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 22, n.1, p.113-117, 1997.

SILVA, J.E.; LEMAINSKI, J.; RESCK, D.V.S. Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de cerrados do oeste baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 18, n. 3, p. 541-547, 1994.

SILVA, L.G.; MENDES, I.C.; REIS JUNIOR, F.B.; FERNANDES, M.F.; MELO, J.T.; KATO, E. Atributos físicos, químicos e biológicos de um Latossolo de cerrado em plantio de espécies florestais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 44, n. 6, p. 613-620, 2009.

SILVA, R.C.; PEREIRA, J.M.; ARAUJO, Q.R.; PIRES, A.J.V.; DEL REI, A.J. Alterações nas propriedades químicas e físicas de um chernossolo com diferentes coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 1, p. 101-107, 2007.

SIQUEIRA NETO, M.; VENZKE FILHO, S.P.; PICCOLO, M.C.; CERRI, C.E.P.; CERRI, C.C. Crop rotation under no-tillage in Tibagi (Parana State, Brazil). I - Soil carbon sequestration. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n.4, p. 1013-22, 2009.

SISTI, C.P.J.; SANTOS, H.P.; KOHHAN, R.; ALBES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BODEY, R.M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in Southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 76, n.1, p. 39-58, 2004.

SIX, J.; BOSSUYT, H.; GRYZE, S.; DENEFF, K. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 79, p. 7-31, 2004.

SIX, J.; ELLIOTT, E.T.; PAUSTIAN, K. Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 63, n. 5, p. 1350-1358, 1999.

SIX, J.; PAUSTIAN, K.; ELLIOTT, E.T.; COMBRINK, C. Soil structure and organic matter: I. Distribution of aggregate size classes and aggregate-associated carbon. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 64, n. 2, p. 681-689, 2000.

SOLLINS, P.; HOMANN, P.; CALDWELL, B.A. Stabilization and destabilization of soil organic matter: mechanisms and controls. **Geoderma**, Amsterdam, v. 74, n. 1, p. 65-105, 1996.

SOUZA, E.D.; CARNEIRO, M.A.C.; PAULINO, H.B.; SILVA, C.A.; BUZETTI, S. Frações do carbono orgânico, biomassa e atividade microbiana em um Latossolo Vermelho sob Cerrado submetido a diferentes sistemas de manejos e usos do solo. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, v. 28, p. 323-329, 2006.

SOUZA, Z.M. **Propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho Escuro de Selvíria-MS sob diferentes usos e manejos**. 2000. 127 f. Dissertação (Mestrado em sistemas de produção) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira.

SOUZA, Z.M.; ALVES, M.C. Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de Cerrado, sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 18-23, 2003.

SPARLING, G.P. Soil microbial biomass, activity and nutrient cycling as indicators of soil health. In: PANKHURST, C.; DOUBE, B.M.; GUPTA, V.V.S.R. (Eds.). **Biological indicators of soil health**. Cambridge: CAB International, 1997. p. 97-120.

STRECK, C.A.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; KAISER, D.R. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 3, p. 755-60, 2004.

SUZUKI, L.E.A.S.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; LIMA, C. L.R. Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 8, p. 1159-1167, 2007.

SUZUKI, L.E.A.S. **Qualidade físico-hídrica de um Argissolo sob floresta e pastagem no sul do Brasil**. 2008. 138 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

SWIFT, R.S. Sequestration of carbon by soil. **Soil Science**, Philadelphia, v. 166, p. 858- 871, 2001.

THIMÓTEO, C.M.S.; BENINI, E.R.Y.; MURATA, I.M.; TAVARES FILHO, J. Alterações da porosidade e da densidade de um Latossolo Vermelho Distrófico em dois sistemas de manejo de solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 23, n.5, p. 1299-1303, 2001.

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Organic Matter and Water-Stable Aggregates in Soils. **European Journal of Soil Science**, Malden, v. 33, n. 2, p.141-161. Jun. 1982.

TÓTOLA, M.R.; CHAER, G.M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. In: ALVAREZ V, V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V.; COSTA, L.M. (Ed). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v. 2. p. 196-276.

TURNBULL, J.K.; PRYOR, L.D. Choice of species and seed sources. In: HILLIS, W.E.; BROWN, A.G. **Eucalypts for wood production**. Melbourne: CSIRO Australia/Academic, 1984. 434 p.

- VALE, R.S. **Agrossilvicultura com eucalipto como alternativa para o desenvolvimento sustentável da Zona da mata de Minas Gerais**. 2004. 101 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.
- VANCE, E.D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 19, n. 6, p. 773-77, 1987.
- VARGAS, L.K.; SCHOLLES, D. Biomassa microbiana e produção de C-CO₂ e N mineral de um Podzólico Vermelho-Escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, n. 1, p. 35-42, 2000.
- VERCHOT, L.V.; DUTAUR, L.; SHEPHERD, K.D.; ALBRECHT, A. Organic matter stabilization in soil aggregates: understanding the biogeochemical mechanisms that determine the fate of carbon inputs in soils. **Geoderma**, Amsterdam, v. 161, n. 3, p. 182-93, 2011.
- VEZZANI, F.M.; MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 1, p. 213-223, 2011.
- WERLE, R.; GARCIA, A.R.; ROSOLEM, C.A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 2297-2305, 2008.
- WHITE, G. N. Scanning electron microscopy. In: DANE, J. H.; TOPP, G. C. (Ed). **Methods of soil analysis**, Part 5, mineralogical methods. Madison: Wisconsin, Soil Science Society of America, 2008. p. 269-297.
- XIE, Z.B.; ZHU, J.G.; LIU, G.; CADISCH, G.; HASEGAWA, T.; CHEN, C.M.; SUN, H.F.; TANG, H.Y.; ZENG, Q. Soil organic carbon stocks in China and changes from 1980s to 2000s. **Global Change Biology**, Malden, v. 13, n. 9, p. 1989–07, 2007.
- ZAIA, F.C.; GAMA-RODRIGUES, A.C. Ciclagem e balanço de nutrientes em povoamentos de eucalipto na região norte fluminense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 5, p. 843-852, 2004.
- ZIBILISKE, L.M. Carbon mineralization. In: WEAVER, R.W.; SCOTT, A.; BOTTOMLEY, P.J. (Ed.). **Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 10-35. (Special Publication, n. 5).
- ZINN, Y.L.; LAL, R.; RESCK, D.V.S. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 84, n. 1, p. 28-40, 2005.