

**ATRIBUTOS DE SOLO SOB COBERTURAS
VEGETAIS EM SISTEMA SILVIPASTORIL EM
LAVRAS - MG**

ADRIANO RIBEIRO GUERRA

2010

ADRIANO RIBEIRO GUERRA

**ATRIBUTOS DE SOLO SOB COBERTURAS VEGETAIS EM
SISTEMA SILVIPASTORIL EM LAVRAS – MG**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras,
como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Florestal, área de concentração em Ciências
Florestais, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Renato Luiz Grisi Macedo

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2010

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Guerra, Adriano Ribeiro.

Atributos de solo sob coberturas vegetais em sistema silvipastoril em
Lavras - MG / Adriano Ribeiro Guerra. – Lavras : UFLA, 2010.

141 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2010.

Orientador: Renato Luiz Grisi Macedo.

Bibliografia.

1. *Eucalyptus* sp. 2. *Pinus* sp. 3. *Brachiaria* sp. 4. Pisoteio
continuado. 5. Compactação do solo. 6. Fertilidade. I. Universidade
Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 634.99

ADRIANO RIBEIRO GUERRA

**ATRIBUTOS DE SOLO SOB COBERTURAS VEGETAIS EM SISTEMA
SILVIPASTORIL EM LAVRAS – MG**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras,
como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Florestal, área de concentração em Ciências
Florestais, para obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 26 de fevereiro de 2010

Prof. Eric Batista Ferreira UNIFAL

Prof. João Luiz Lani UFV

Prof. Marx Leandro Naves Silva UFLA

Prof. Nelson Venturin UFLA

Prof. Renato Luiz Grisi Macedo
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL

DEDICATÓRIA

“Assim, lembro que nasci analfabeto, vivo estudando e morrerei
aprendiz...”

Moraes (2009)

À minha pequena, forte e doce família, Daniela e Savinho,
DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e por nos presentear com inúmeros mistérios para o desenvolvimento da Ciência.

À minha esposa Daniela, que sempre cuidou de tudo para que eu pudesse me dedicar aos estudos. Ao querido Savinho, por nos presentear diariamente com seus sorrisos marotos.

Aos meus queridos pais, Paulo e Ângela, que propiciaram o suporte emocional e material necessários para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos fraternos tios paternos, conselheiros em momentos difíceis e em especial ao primo Léo. Aos queridos avós Sávio (*in memoriam*) e Elza, pelos valiosos ensinamentos sócio-ambientais e eterno carinho.

À Universidade Federal de Lavras, especialmente aos Departamentos de Engenharia Florestal e de Ciência do Solo, pelo treinamento oferecido. Gratidão particular ao Departamento de Zootecnia pela cessão da área experimental.

À CAPES, pela concessão parcial da bolsa de estudos. Ao coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal Professor José Márcio de Rocha Faria, pelos esclarecimentos e auxílio em trâmites burocráticos.

Em especial aos professores:

Renato Luiz Grisi Macedo, pela orientação, auxílio na condução deste trabalho e pela disponibilidade em aceitar novas discussões a respeito dos Sistemas Agroflorestais;

Marx Leandro Naves Silva, pelo empréstimo do instrumental necessário a coleta de solos, pela viabilização das análises no DCS e pela inestimável co-orientação;
Hélcio Andrade, pelas aulas de campo e assistência na seleção dos pontos amostrais;

Eric Batista Ferreira, pelos ensinamentos e auxílio imprescindível nas análises estatísticas;

Nelson Venturin, pelas correções do projeto e sugestões para a melhoria deste trabalho e;

João Luis Lani, pela gentil acolhida em Viçosa e disponibilidade em participar desta banca.

Aos professores ministrantes das disciplinas cursadas, Carlos Alberto Silva, João José Granate de Sá e Melo Marques, José Luis Pereira de Rezende, Mozart Martins Ferreira, Nilton Curi e Soraya Alvarenga Botelho, pelos conhecimentos transmitidos.

À amiga Selma Ribeiro, pelo desprendimento e carinho.

À colega do DCS Carla Carducci, pelo auxílio nas análises laboratoriais.

Aos funcionários do DCS, Dorotéu de Abreu, Dulce Claret e José Roberto (Pezão) e demais colegas do DCS pelo convívio e treinamento.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
1 INTRODUÇÃO.....	01
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	03
2.1 Sistemas silvipastoris: benefícios e dificuldades.....	03
2.2 Produtividade de sistemas silvipastoris.....	05
2.3 Funções da serrapilheira.....	07
2.4 Impactos sobre o solo em florestas e pastagens.....	09
2.4.1 Alterações nos atributos físicos do solo.....	11
2.4.2 Alterações em atributos de fertilidade.....	14
2.4.3 Dinâmica da matéria orgânica do solo.....	18
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	23
3.1 Solo e clima.....	23
3.2 Histórico das áreas estudadas.....	26
3.3 Caracterização e localização das parcelas experimentais.....	28
3.4 Procedimentos de campo.....	31
3.4.1 Coleta e quantificação do material vegetal.....	31
3.4.2 Coleta de amostras de solo.....	31
3.4.3 Teste de resistência do solo à penetração	32
3.5 Procedimentos e análises laboratoriais para amostras deformadas.....	33
3.5.1 Preparo das amostras de solo.....	33
3.5.2 Granulometria e densidade de partículas.....	33
3.5.3 Estabilidade de agregados.....	33
3.5.4 Fertilidade.....	34
3.6 Procedimentos e análises laboratoriais para amostras indeformadas.....	34

3.6.1 Preparo e saturação das amostras.....	34
3.6.2 Porosidade e densidade do solo.....	35
3.6.3 Condutividade hidráulica.....	35
3.7 Análises estatísticas.....	36
3.7.1 Comparações múltiplas.....	36
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	39
4.1 Material vegetal acumulado sobre o solo.....	39
4.2 Avaliação das propriedades físicas do solo.....	43
4.2.1 Argila dispersa em água e índice de floculação.....	43
4.2.2 Densidade do solo.....	46
4.2.3 Porosidade (total e distribuição por tamanho).....	52
4.2.4 Condutividade hidráulica do solo saturado	60
4.2.5 Estabilidade de agregados.....	62
4.2.6 Resistência do solo à penetração.....	65
4.3 Avaliação dos atributos de fertilidade.....	68
4.3.1 Atributos indicadores da acidez do solo.....	68
4.3.1.1 Acidez ativa	68
4.3.1.2 Alumínio trocável	72
4.3.1.3 Acidez potencial	75
4.3.2 Níveis de nutrientes.....	78
4.3.2.1 Cálcio trocável.....	78
4.3.2.2 Magnésio trocável.....	83
4.3.2.3 Potássio trocável.....	89
4.3.2.4 Fósforo disponível	94
4.3.2.5 Soma de bases.....	96
4.3.2.6 CTC efetiva.....	100
4.3.2.7 CTC_{pH7}	103
4.4 Matéria orgânica do solo	106

5 CONCLUSÕES.....	112
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	113
ANEXOS.....	128

RESUMO

GUERRA, Adriano Ribeiro. **Atributos de solo sob coberturas vegetais em sistema silvipastoril em Lavras - MG**. 2010. 141 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras¹.

O impacto promovido por sistemas silvipastoris (SSP) nos atributos do solo é pouco relatado na literatura científica, no entanto, esta modalidade de produção se encontra em franca expansão no Brasil. O objetivo deste trabalho foi avaliar o estado das propriedades físicas e químicas do solo em diferentes coberturas normalmente identificadas em ambientes silvipastoris. Foram selecionadas 5 áreas de um SSP no município de Lavras – MG com os seguintes recobrimentos: serrapilheira (T1 - pinus; T5 – eucalipto); gramíneas (T2 – braquiária); gramíneas + serrapilheira (T3 – pinus + braquiária; T4 –eucalipto + braquiária). Para referenciar os resultados tomaram-se amostras sob a condição natural (T6-mata). Coletaram-se amostras do material vegetal que cobria o solo e do solo nas camadas de 0-10 cm e 10-20 cm, utilizando-se delineamento inteiramente casualizado em parcelas subdivididas no espaço, com 4 repetições. O efeito promovido pelo pisoteio animal nas propriedades físicas foi mais pronunciado na camada de 0-10 cm e na cobertura T1, havendo aumento da densidade do solo e resistência à penetração, bem como redução acentuada da condutividade hidráulica. A cobertura de pinus (T1) promoveu reduções do índice de floculação e da estabilidade de agregados. Ambientes com extrato graminoso (T2, T3 e T4) não apresentaram alterações adversas dos atributos físicos. Em relação aos atributos de fertilidade, detectaram-se reduções nos níveis de nutrientes catiônicos trocáveis nos ambientes silvipastoris. Depleções mais pronunciadas nos níveis de Ca^{2+} e Mg^{2+} , bem como elevações dos teores de Al^{3+} , foram verificadas nos subsistemas silvipastoris revestidos por eucalipto (T4 e T5), o que está associado à maior imobilização de cátions no tronco dessas árvores. No solo sob pinus (T1), foram observados os maiores valores de soma de bases, fato particularmente associado ao comportamento animal e não apenas a ação da cobertura vegetal sobre o solo. A recuperação dos teores originais de matéria orgânica do solo nos ambientes silvipastoris não se verificou, após 15 anos de condução. Os resultados indicam que a simples adoção de SSP não é suficiente para mitigar a degradação do solo e poderá até mesmo agravá-la em algumas situações.

Palavras-chave: *Pinus* sp.; *Eucalyptus* sp, *Brachiaria* sp, pastoreio contínuo.

¹ Comitê orientador: Renato Luis Grisi Macedo - UFLA (Orientador), Marx Leandro Naves Silva - UFLA, Eric Batista Ferreira – UNIFAL e Nelson Venturin - UFLA

ABSTRACT

GUERRA, Adriano Ribeiro. **Soil attributes under different in silvopastoral systems in Lavras - MG**. 2010. 141 p. Dissertation (Master in Forestry Engineering) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.²

The impact promoted in soil properties by silvopastoral systems is scarce in the scientific literature, however, this mode of production is booming in Brazil. The objective of this study was to evaluate the state of physical and chemical properties of soil in different crop environments commonly identified in silvopastoral systems. Five areas were selected in a silvopastoral system in Lavras - MG with the following covering: litter (T1 - pine, T5 - eucalypt), grasses (T2 - *Brachiaria* sp), grass + litter (T3 - pine + grass, T4 - eucalypt + grass). To compare the results, samples were taken under the natural condition (T6 - forest). Samples were collected from the vegetation that covered the soil and the soil at 0-10 cm and 10-20 cm, under a completely randomized design and split plot in space scheme, with 4 replications. The effect promoted by trampling on the physical properties was more pronounced at 0-10 cm and on the coverage T1, with increased density and penetration resistance, as well as remarkable reduction in hydraulic conductivity. The cover of pine (T1) induced reductions in rate of flocculation and aggregate stability. Environments with grassy extract (T2, T3 and T4) showed no adverse changes in physical attributes. Regarding the attributes of fertility, there were reductions in the levels of exchangeable cationic nutrients in silvopastoral systems. More pronounced reductions in the levels of Ca^{2+} and Mg^{2+} , and increase of the levels of Al^{3+} , were found under Eucalyptus (T4 and T5), which is associated with greater immobilization of cations in the trunk of these trees. In the soil under pine (T1) there were the highest values of sum of bases, which was particularly associated to animal behavior and not just the action of the vegetation on the ground. The recovery of the original levels of soil organic matter in silvopastoral system was not observed even after 15 years of management. The results indicate that the mere adoption of silvopastoral system is not sufficient to mitigate soil degradation and may even exacerbate it in some situations.

Keywords: *Pinus* sp.; *Eucalyptus* sp, *Brachiaria* sp, continuous grazing .

² Guidance committee: Renato Luis Grisi Macedo UFLA (Major Professor), Marx Leandro Naves Silva - UFLA, Eric Batista Ferreira – UNIFAL and Nelson Venturin -UFLA.

1 INTRODUÇÃO

Sistemas silvipastoris (SSP) são ambientes constituídos por pastagens e cultivos arbóreos, conduzidos de maneira consorciada ou não. Estes ambientes vêm recebendo, a cada dia, maior atenção tanto de produtores quanto de órgãos governamentais, seja para ações voltadas para a recuperação de pastagens degradadas (Ibrahim & Camargo, 2001; Dias-Filho, 2006), como alternativas para diversificação da produção ou simplesmente para o sombreamento das pastagens. Algumas unidades da EMBRAPA possuem publicações e linhas de pesquisa dedicadas ao tema.

A adoção deste modelo de produção (SSP) não representa uma ruptura brusca na cultura local, seja ela agrícola, pecuária ou florestal. Além do mais, é um meio efetivo de se ampliar a cobertura arbórea de determinada região e promover sobremaneira a produção madeireira no Brasil, uma vez que a atividade pecuária ocupa grandes áreas e está disseminada por todo o país. Relevante também é o papel dos SSP em proteger a saúde humana, uma vez que os trabalhadores rurais sofrem sérios riscos de apresentar doenças dermatológicas quando expostos em demasia a pleno sol.

Animais bovinos podem ser introduzidos em povoamentos florestais jovens para auxiliar no controle das gramíneas e promover redução de custos (Almeida, 1990). A sombra propiciada pelas árvores em pastagens, além de garantir conforto para homens e animais, pode trazer outras vantagens como controle da erosão (Carvalho, 2001) e melhoria da fertilidade do solo (Dias & Souto, 2006). No entanto, a melhoria da fertilidade do solo ocorre apenas em determinadas circunstâncias e não é incomum se observar em áreas de pastagens, degradação física do solo em locais de maior adensamento de árvores, o que poderá levar a aumentos nas taxas de erosão.

Apesar de algumas vantagens sócio-econômicas e de efeitos ambientais positivos, observa-se notável escassez de estudos científicos que avaliem as alterações nos atributos de solo em SSP, sendo a literatura pertinente ao tema muitas vezes vaga e permeada de suposições. Dentre as pesquisas sobre o impacto dos SSP sobre o solo pode-se citar Schreiner (1988); Almeida (1990) e Neves (2002). Os dois primeiros autores avaliaram povoamentos florestais sob pastejo em estágio inicial de desenvolvimento (primeiro ano). Neves (2002) detectou alterações adversas nos atributos do solo em sistema agrossilvipastoril aos 7 anos de condução.

A escassez de informações a cerca de SSP está ligada tanto à sua recente aplicação, à sua complexidade inerente e ao ciclo longo de condução. No entanto, estes sistemas estão em franca expansão no Brasil, seja em regiões com tradição pecuária ou de atividades silvícolas, o que torna a geração de informações sobre estes ambientes essencial para se elaborar técnicas de manejo que minimizem a sua degradação.

O objetivo deste estudo foi caracterizar as condições físicas e de fertilidade do solo em diferentes coberturas vegetais em um SSP no município de Lavras – MG, bem como testar a hipótese de que distintos materiais vegetais, vivos ou mortos, que recobrem o solo em SSP, propiciam proteção diferenciada às alterações nos atributos físicos provocadas pela ação contínua do pisoteio animal.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Sistemas silvipastoris: benefícios e dificuldades

A adoção de sistemas silvipastoris (SSP), modalidade de sistemas agroflorestais (SAF) das mais difundidas, visa à minimização dos efeitos negativos de coberturas vegetais conduzidas em monocultivo. Muitos países têm divulgado e estimulado a adoção de sistemas agroflorestais (SAF) como maneira de obter melhor aproveitamento dos recursos naturais. Entretanto, no Brasil estes sistemas não tem sido adequadamente divulgados e pesquisados (Daniel et al., 2001). Faltam programas de fomento e atividades de extensão e pesquisa que os promovam, além de uma legislação ambiental mais clara que dê mais segurança aos empreendedores rurais que se dedicam a estes sistemas.

A possibilidade de integração técnica entre o setor florestal e pecuário é crescente e complementar, motivada pelo fato de algumas experiências científicas e conhecimentos empíricos demonstrarem benefícios na adoção dos SSP (Polla, 2001). Em razão dos reflorestamentos serem implantados em áreas anteriormente ocupadas por pastagens naturais ou plantadas, é comum a ocorrência de gramíneas nesses povoamentos, o que pode tornar a presença de animais vantajosa para controlar o crescimento dessas plantas, bem como possibilitar receitas suplementares (Schreiner, 1988). É comum em muitas áreas sob reflorestamentos, a formação de SSP acidentais, com as gramíneas ocupando principalmente áreas de borda, clareiras e aceiros; sendo comum entre silvicultores grandes ou pequenos, a utilização de pastoreio em povoamentos florestais. Schreiner (1988) argumenta que as receitas produzidas pelo gado bovino nos primeiros anos são maiores que as oferecidas por produtos madeireiros; ao passo que em idades mais avançadas esta situação se inverte.

Uma das principais vantagens da adoção de SSP é a redução do risco de incêndios em áreas reflorestadas, em razão da redução de material combustível, promovida pelo pastejo, o que resulta na diminuição dos custos de seguro contra incêndios (Baggio & Schreiner, 1988). A implantação de SSP desestimula a prática indiscriminada da queima de pastagens, uma vez que as árvores são mais sensíveis ao fogo e representam receita adicional ao pecuarista (Garcia et al., 2005). É também importante ressaltar que, em muitas áreas reflorestadas onde se permite o pastoreio, os pecuaristas são os principais parceiros das empresas no controle e monitoramento de incêndios florestais.

Almeida (1990) mostrou a viabilidade técnica de se introduzir animais em áreas de reflorestamento aos 5 meses após a implantação. Enquanto a testemunha, tratamento sem pastoreio, necessitou de até seis capinas, os tratamentos pastoreados necessitaram de apenas duas, demonstrando a economicidade da prática. O desempenho silvicultural, inclusive a sobrevivência e o dano às árvores, foi semelhante para todos os tratamentos testados.

Benefícios do plantio de árvores com culturas somente ocorrerão quando o componente arbóreo do sistema for capaz de obter recursos (água, nutrientes e luz) que as culturas não obteriam preliminarmente (Canell et al., 1996; apud Pinto, 2002). Diante dessa premissa depreende-se que a simples associação de árvores com culturas anuais ou pastagens não é condição indispensável para se alcançar a sustentabilidade ambiental, sendo o desenho do sistema e a composição das espécies temas frequentemente estudados para se obter vantagens na adoção de um SSP.

A adoção de sistemas silvipastoris também pode trazer algumas dificuldades ao pecuarista. A presença de árvores e arbustos no pasto pode prejudicar o desenvolvimento da pastagem, devido ao sombreamento excessivo e a competição por água e nutrientes que as espécies arbóreo-arbustivas exerceriam sobre as forrageiras herbáceas da pastagem (Dias-Filho, 2006).

Elementos arbóreos que apresentem abundante queda de folhas, cuja decomposição seja lenta, poderão prejudicar o rebrote ou a germinação e crescimento do capim.(Dias-Filho, 2006), bem como a imobilização de nutrientes na serrapilheira.

A implantação de SSP representa elevado custo inicial em relação à formação de pastagens puras, sendo que alguns benefícios constantemente atribuídos a este modo de produção, como aumento da biodiversidade e seqüestro de carbono, tem importância secundária para os empreendedores rurais (Dias Filho, 2006). Políticas públicas de linhas de crédito, fomento a pesquisas científicas e à difusão de tecnologia são essenciais para incentivar o uso desse sistemas (Dias-Filho, 2006), uma vez que os mesmos ainda são pouco conhecidos dos produtores rurais. A ampliação deste modo de produção seria alcançada pelo desenvolvimento de políticas em que os produtores fossem pagos pelos serviços ambientais oriundos de práticas silvipastoris, o que compensaria o ônus financeiro assumido pelo produtor e proveria a sociedade dos benefícios ambientais advindos dos SSP (Dias-Filho, 2006).

2.2Produtividade de sistemas silvipastoris

A produtividade do componente arbóreo em consórcio com gramíneas pode ser afetada tanto de modo positivo quanto negativo. Baggio & Schreiner (1988) identificaram uma queda de produtividade de cerca de 4,5% em parcelas de *Pinus elliottii* pastoreadas por gado bovino, numa lotação de 0,6 cabeças por hectare. Silva (1999) por outro lado, demonstrou que a produção média de biomassa por planta de *Eucalyptus* sp., dispostas em espaçamento 3 x 2 m em plantio solteiro (sem gramíneas), correspondeu a 77% da produção obtida no sistema consorciado com *Brachiaria decumbens*.

A produção de forragem em SSP também é afetada de maneira diversa. Oliveira et al. (2007), ao avaliarem a produtividade de *Brachiaria brizantha* em

SSP com eucalipto sob diferentes arranjos, identificaram maior quantidade de forragem na entrelinha do que na linha das árvores, fato atribuído à competição promovida pelo eucalipto. Andrade et al. (2001) constataram que a baixa produtividade de capim-tanzânia em um sistema agrossilvipastoril foi restringida pela baixa disponibilidade de nitrogênio no solo, bem como pela redução da luminosidade. A redução do sombreamento através de desbastes promove recuperação da produção de forragem (Paciullo et al., 2007)

Equações desenvolvidas por Silva (2006) permitem dimensionar a distribuição adequada de árvores em pastagens, de acordo com as características de copa das árvores utilizadas. Através do uso destas expressões é possível prever-se tanto o excesso quanto a falta de sombreamento nas pastagens, sendo que as árvores mais adequadas para a composição de um SSP são aquelas de copas amplas, elevadas e com formato de cone invertido.

Apesar da queda de produtividade, há relatos sobre a melhoria da qualidade da forragem em SSP. Em consórcio de *Brachiaria brizantha* com a espécie arbórea *Zeyheria tuberculosa* (bolsa-de-pastor, ipê-preto), Sousa et al. (2007) identificaram que o sombreamento reduziu a produção de forragem. No entanto, a produção de proteína bruta por hectare e a degradabilidade efetiva não foram afetadas quando comparadas aos valores obtidos em pastagem aberta. Verificou-se também que a relação de matéria seca viva/matéria seca morta da forrageira foi maior na área sombreada, indicando menor taxa de senescência da braquiária no SSP avaliado. Paciullo et al. (2007) identificaram que os teores de proteína bruta das folhas de *Brachiaria decumbens* aumentaram para 12,4 % sob as condições de sombreamento, em relação aos teores obtidos a pleno sol, que foi de 9,6%.

O aumento na disponibilidade de forragem em SSP podem ser obtidos em condições de sombreamento. Em SSP composto por leguminosas arbóreas nativas implantadas no arranjo de 15 x 15 m, Dias et al. (2005) observaram que

a produtividade de forragem na área sob a projeção da copa das árvores apresentou maiores valores. Sob a copa de *Enterolobium contortisiliquum* (tamboril) chegou-se a um rendimento de híbrido de *Digitaria* sp. 259% maior (a 50 cm do tronco) do que aquele mensurado fora da projeção da copa. Para as outras espécies avaliadas, *Peltophorum dubium* e *Dalbergia nigra*, os resultados foram menos pronunciados, apesar de identificar-se no estudo, melhoria na composição química (maiores teores de N, P, K, Ca e Mg) da forragem na área de influência da copa. Este estudo demonstra que incrementos de produtividade podem ser obtidos, principalmente, ao se utilizar espécies arbóreas nativas e leguminosas. No entanto, a implantação de espécies arbóreas em espaçamentos amplos é bastante laboriosa em relação a espaçamentos mais adensados, o que poderá conduzir a um intervalo de reentrada de animais muito longo.

2.3 Funções da serrapilheira

A serrapilheira, liteira ou manta orgânica, é a principal via de transferência no fluxo de nutrientes em ambientes florestais, pois permite que ocorra o retorno ao solo de uma significativa quantidade de nutrientes absorvida pelas plantas. Uma floresta absorve anualmente quantidades semelhantes de nutrientes absorvidos por uma cultura agrícola. Entretanto, cerca de dois terços dos nutrientes absorvidos pelas árvores são devolvidos ao solo através de folhas, galhos, frutos e raízes (Poggiani, 1985).

A taxa de acumulação e as características qualitativas da manta orgânica variam com a composição florística do ecossistema, com a latitude, proporção de folhas em relação aos demais componentes da árvore, clima e classe de solo (Sodré, 1999). Em monoculturas, como de *Pinus* sp. e *Eucalyptus* sp. observa-se grande acúmulo de resíduos, em comparação com as florestas nativas, o que se deve principalmente à dificuldade na decomposição do material. A baixa taxa de decomposição se deve à alta relação C/N, baixa concentração de nutrientes

essenciais e à presença de componentes com atividade antibacteriana (Della Bruna, 1985). O grande acúmulo de liteira em povoamentos de *Pinus* sp. é resultado da alta taxa anual de queda da serrapilheira e da baixa taxa de decomposição, uma vez que, comparada a uma vegetação nativa, a serrapilheira de *Pinus* sp. apresenta baixo conteúdo de nutrientes (Poggiani, 1985). A adição de nutrientes à serrapilheira do eucalipto acelera a sua decomposição, principalmente quando se adiciona corretivos de acidez e fontes de fósforo e nitrogênio (Della Bruna, 1985).

A avaliação sobre o estoque de nutrientes na serrapilheira, no solo e na biomassa epígea de três sistemas florestais, indicaram que o povoamento de *Eucalyptus grandis* foi o que apresentou maior estoque de nutrientes, por apresentar maior produção anual de serrapilheira (Vieira, 1998). No entanto, a qualidade da serrapilheira de *E. grandis* em relação ao teor de nutrientes foi considerada inferior à das outras coberturas avaliadas, uma vez que a maior parte dos nutrientes está imobilizada na biomassa epígea. A manta orgânica produzida por *E. grandis*, apesar de ser abundante, apresenta baixa qualidade, sendo de decomposição mais lenta. Anteriormente, Gama-Rodrigues et al. (1997) haviam observado relações semelhantes entre a serrapilheira de eucalipto (16 anos) e de Floresta Ombrófila densa, sendo a do eucalipto de menor teor de nutrientes. Por outro lado, a manta orgânica do eucalipto apresenta maior lixiviação potencial de nutrientes em relação a outros materiais orgânicos (Sodré, 1999). Portanto, apesar da lenta mineralização de serrapilheiras de povoamentos de eucalipto, os nutrientes podem ser liberados através do fluxo hidrológico do sistema.

Identificou-se maiores teores de macronutrientes (N, K, Ca e Mg) na serrapilheira de vegetação nativa (cerrado) do que em manta de povoamentos de *Pinus* sp (Lopes, 1983). No entanto, em relação à quantidade total desses

nutrientes presentes na serrapilheira das coberturas não houve diferença significativa.

As quantidades de nutrientes em serrapilheira de *Pinus* sp. e *Eucalyptus* sp. (em kg ha⁻¹), respectivamente, foram estimadas em: 155 e 50 para N; 8 e 4 para P; 20 e 10 para K; 40 e 60 para Ca ; 9 e 14 para Mg (Poggiani, 1985). Mesmo implantado em classe de solo de elevada distrofia em relação ao plantio de *Eucalyptus* sp., o povoamento de *Pinus* sp. apresentou quantidades mais elevadas de N (3 vezes), P (2 vezes) e K (2 vezes). Entretanto, no plantio de *Eucalyptus saligna* detectou-se maiores valores para Ca e Mg. Teores mais elevados de N, P e S em serrapilheira de *Pinus caribaea* (20 anos), e menores de K, Ca e Mg do que serrapilheira de cerrado foram identificados na região de Brasília (Zinn, 1998). Para *Eucalyptus camaldulensis* (9 anos), os teores de macronutrientes detectados na serrapilheira foram semelhantes aos encontrados em vegetação natural (Zinn, 1998). Embora a serrapilheira de *Pinus* apresente concentrações de bases menores, a elevada quantidade do material representa um enorme estoque de nutrientes, que apesar de não prontamente disponível, devido a difícil decomposição, poderá ser mineralizado através de queima controlada, uma vez que em reflorestamentos de *Pinus* sp. há a necessidade de utilização de tal prática para a redução de incêndios acidentais de alta intensidade, conforme concluiu Zinn (1998).

2.4 Impactos sobre o solo em florestas e pastagens

A degradação dos solos é um processo natural condicionado tanto pela erosão quanto pelo intemperismo, sendo que este último, apesar de ser um processo pedogenético, também leva à degradação dos materiais constituintes do solo ao longo do tempo, através da destruição das argilas e modificação química dos demais constituintes. Particularmente o clima é o fator que exerce maior controle sobre o intemperismo, sendo que nos ambientes tropicais úmidos o solo

está submetido a taxas mais intensas. A vegetação também exerce influência sobre a pedogênese, mas o seu papel, principalmente a curto prazo, é controlar as taxas de erosão e a movimentação de nutrientes (lixiviação e imobilização na biomassa). Assim, as florestas minimizam sobremaneira a erosão em ambientes tropicais, apesar dos processos de gênese continuarem em curso e levarem a outro tipo de degradação do solo. Por outro lado, as pastagens tendem a apresentar processos erosivos mais acentuados em razão da compactação promovida pelos animais de pisoteio e menor interceptação de água. Entretanto, pode-se esperar que em pastagens haja redução de perdas por lixiviação, em razão da redução do fluxo de água no solo e da elevada densidade de raízes observadas em gramíneas, além da menor imobilização de nutrientes na biomassa desse tipo de vegetação.

A ação da vegetação sobre o solo possui dupla ação conforme define Christofolletti (1974):

... as raízes provocam o deslocamento de partículas, aumentam a permeabilidade do solo, intensificam as ações bioquímicas e retiram os nutrientes; é a função de desagregação e empobrecimento. Por outro lado, funcionam como camada interceptora frente à ação mecânica da chuva, como obstáculo ao escoamento pluvial e aos ventos, e, através do fornecimento de húmus, como fator de agregação dos solos.

Áreas de pastagens apresentam alterações físicas do solo adversas, sendo as propriedades químicas capacidade de troca catiônica (CTC) e matéria orgânica do solo (MOS) pouco afetadas em relação ao ambiente natural (Araújo et al., 2007). Em reflorestamento de *Pinus elliottii* (20 anos) identificou-se maior depleção nos atributos químicos e biológicos do solo, sendo que as propriedades físicas apresentaram algumas melhorias em relação ao cerrado nativo (Araújo et al., 2007).

2.4.1 Alterações nos atributos físicos do solo

A degradação da estrutura do solo devido à compactação é condicionada pelos seguintes fatores: composição granulométrica do solo; teor de carbono orgânico; umidade do solo; frequência e intensidade da carga aplicada (Cavaliere et al., 2009). A susceptibilidade do solo em sofrer deformações está fortemente relacionada à sua umidade, sendo que elevados conteúdos de água no solo reduzem sua capacidade de carga, independente do manejo e classe de solo (Kondo & Dias Júnior, 1999). O tipo de resíduo ou cobertura que cobre o solo pode dissipar parte da pressão exercida pelas patas dos animais (Braida et al., 2008) e constitui o objeto principal de investigação deste estudo. Tratando-se de áreas pastoreadas continuamente é aceitável dizer que a frequência e intensidade de carga são bastante elevadas e a variação de umidade do solo também, sendo difícil o controle desses fatores para evitar-se a compactação. A composição granulométrica dificilmente pode ser alterada. Portanto, em áreas sob pastejo continuado, pode-se apenas manipular a composição do resíduo orgânico depositado sobre o solo. Tanto a quantidade quanto a qualidade do resíduo orgânico (serrapilheira) em ambiente silvipastoril pode ser modificada pela composição e densidade das espécies integrantes do sistema.

A compactação diminui a produção vegetal em razão da diminuição do crescimento radicular e da consequente redução na absorção de água e de nutrientes (Silva, 2000). Por outro lado, um ligeiro aumento na densidade do solo pode ser benéfico porque reduz a lixiviação de nutrientes mais solúveis e a perda de água por capilaridade (Costa, 1990).

A resiliência estrutural do solo, definida como a habilidade do solo em recuperar sua forma através de processos naturais após cessada ou reduzida a ação modificadora, é condicionada por processos como ciclos de umedecimento e secagem e atividades biológicas tais como crescimento de raízes e ação da fauna do solo (Portugal, 2005). Alterações nas propriedades físicas do solo em

áreas de pastagens poderão ocorrer em maior ou menor grau, de acordo com a intensidade e frequência de pastejo (Carvalho, 1976), mas também são influenciadas pelo hábito de crescimento da forrageira (Luz & Herling, 2004). Há uma relação entre a oferta de forragem e as alterações indesejáveis das propriedades físicas do solo provocadas pelo pastoreio, sendo que, sob menores níveis de forragem, ocorrem os maiores danos à estrutura do solo (Bertol et al., 2000). A descompactação pode ser obtida através do sistema radicular das gramíneas quando a pastagem é submetida a períodos de descanso suficientes para promover o acúmulo de fitomassa aérea e até mesmo através da ação biológica de macro e microrganismos do solo que podem ter sua atividade estimulada pela presença de resíduos animais (Luz & Herling, 2004).

Áreas ocupadas por pastagens e por reflorestamentos podem apresentar valores de densidade do solo semelhantes (Alvarenga, 1996; Davis & Condrón, 2002; Neves, 2002; Brito, 2004; Pires, 2004). No entanto, há relatos de valores menores em reflorestamentos em relação a pastagens (Araújo et al. 2007), o que provavelmente está associado ao manejo da pastagem.

A compactação do solo, promovida pela introdução de animais bovinos para o controle de gramíneas em reflorestamentos jovens, poderá ocorrer apenas superficialmente e de maneira proporcional à carga animal utilizada (Schreiner, 1988; Almeida, 1990). No entanto, em SSP mais longevos (7 anos) verificou-se aumento da densidade do solo em relação à pastagem pura (Neves, 2002). O excesso de sombra e a presença constante de animais sob a copa das árvores poderão promover redução do extrato graminoso e tornar o solo mais vulnerável à compactação e erosão (Dias Filho, 2006).

A agregação é um processo dinâmico no solo, condicionado pela adição e decomposição de materiais orgânicos, sendo o aporte desses materiais essencial para a manutenção da qualidade física do solo (Silva & Mendonça, 2007). A estabilidade dos agregados é um importante parâmetro para se avaliar a

susceptibilidade do solo à erosão, uma vez que ao se romper o agregado, há favorecimento das perdas de solo (Portugal, 2005). Solos revestidos com gramíneas perenes apresentaram-se mais bem estruturados e com maior estabilidade de agregados quando comparados com culturas anuais (Silva & Mielniczuk, 1997; D'Andréa et al., 2002).

A condutividade hidráulica do solo saturado é condicionada principalmente pela geometria do espaço poroso do solo (continuidade e tamanho dos poros). No entanto, há que se considerar que determinadas coberturas vegetais condicionam o movimento de água no solo em razão da produção de moléculas orgânicas hidrofóbicas (Pérez et al., 1998), como aquelas provenientes das acículas de *Pinus* sp., o que pode levar à redução das taxas de infiltração e conseqüente aumento das taxas de escoamento superficial.

A erosão provocada por atividades antrópicas é a maior causa de degradação de solos no mundo, tendo como conseqüências, muitas vezes permanentes, a redução da fertilidade dos solos (Lopes & Guilherme, 2007). Por outro lado, a erosão é considerada por Resende et al. (1988) como “o principal mecanismo de perda de nutrientes, mas também de renovação natural pela exposição de novos materiais à intemperização”. Portanto, pode-se esperar que a ação da erosão promova, dependendo das condições locais, efeitos antagônicos, uma vez que tanto o enriquecimento quanto a perda de fertilidade promovida pela erosão são influenciados pelo tipo de solo.

Coberturas florestais propiciam taxa de infiltração mais elevada do que solos revestidos por vegetação graminóide, em razão do fenômeno de interceptação pluviométrica e do grande volume de manta orgânica acumulada na superfície de solos florestais (Cóser et al., 1990; Martins, 2001; Cardoso, 2003). Revestimentos gramíneos também podem ser muito eficientes no controle da erosão (Santos, 1993; Inácio et al., 2007), desde que não sejam pastoreados excessivamente.

2.4.2 Alterações nos atributos de fertilidade.

Em avaliações experimentais sobre o efeito de coberturas vegetais sobre a fertilidade do solo na camada superficial, vários fatores devem ser analisados antes de se atribuir que a alteração se deve à ação da vegetação. São eles: histórico da área; tempo de implantação; fertilização; espécie ou procedência utilizada; espaçamento; desbastes; ocorrência de incêndios; classe de solo; presença de animais; erosão e lixiviação. Assim, é possível atribuir-se determinado efeito à vegetação objeto do estudo sem, no entanto, obter-se o controle sobre os fatores citados anteriormente. Portanto, erros podem ser muito comuns nestes tipos de estudos em razão do grande número de variáveis envolvidas.

As áreas de vegetação natural, quando em equilíbrio, reduzem ao mínimo a saída de nutrientes do ecossistema através da interação solo-vegetação (Vieira, 1998), podendo manter sempre o mesmo nível de fertilidade e até melhorar suas características ao longo do tempo. A floresta não perturbada, em geral, apresenta uma grande estabilidade, ou seja, os nutrientes introduzidos no ecossistema pela chuva e intemperismo geológico estão em equilíbrio com os nutrientes perdidos para os rios e o lençol freático. Arcova et al. (1985), entretanto, discordam desta idéia e argumentam que mesmo em ecossistemas florestais caracterizados por apresentar significativa influência na regularização e dinâmica dos nutrientes nas bacias hidrográficas, a saída de nutrientes, por lixiviação ou fluxo de base pode superar a entrada pela precipitação.

Ao longo do tempo é possível que haja acúmulo de nutrientes na camada superficial do solo em áreas sob cobertura florestal, devido à absorção contínua de nutrientes de camadas mais profundas e que são depositadas no piso florestal através da lavagem das copas e da deposição de material orgânico (Kolm, 2001). No entanto, esta constatação nem sempre se verifica em ambientes tropicais, principalmente em florestas de produção, o que está relacionado basicamente ao

tipo de solo utilizado e, em menor escala, à espécie ou até mesmo procedência implantada. Florestas que produzem alta quantidade de biomassa por unidade de nutriente absorvido produzem serrapilheira de baixa qualidade, o que leva à redução da disponibilidade de nutrientes do solo (Gama-Rodrigues, 1997).

É comum na implantação de reflorestamentos com espécies exóticas, principalmente *Pinus* sp, não levar-se em conta as limitações pedológicas existentes, o que conduz, ao longo do tempo a um quadro de depauperamento e acidificação do solo (Chaves & Corrêa, 2005). Ao avaliar diversos povoamentos florestais de *Pinus* sp. e *Eucalyptus* sp. implantados em solos distróficos, Lepsch (1980) identificou redução nos teores de nutrientes, notadamente em povoamentos de *Pinus* sp., quando comparados à condição natural (cerrado). O aumento da fertilidade do solo nas camadas superficiais através da condução de reflorestamentos só aconteceria se esses cultivos fossem conduzidos em solos mais rasos (menos intemperizados) ou mais ricos em nutrientes nas camadas subsuperficiais (Lepsch, 1980). Zinn (1998) também constatou redução nos valores de Ca, Mg, K e CTC em plantio de *Pinus* sp., resultado da fertilização inicial muito pequena e considerável absorção pela floresta. Por outro lado, o autor citado anteriormente observou enriquecimento superficial com Ca e P sob *Eucalyptus camaldulensis*, motivado pela fosfatagem corretiva utilizada na implantação deste povoamento e não a ação da mesma sobre o solo. Em reflorestamentos de *Pinus* sp implantados em solos distróficos e submetidos regularmente a desbastes, observou-se aumento nos teores de P, Ca, SB, CTC, MOS e manutenção dos níveis de N, K, Mg e V (Lopes, 1983), o que pode estar relacionado à redução na densidade arbórea promovida pelos desbastes.

A redução da fertilidade do solo em reflorestamentos está relacionada à elevada absorção e retenção de nutrientes pelas árvores. Assim como outras culturas agrícolas, o eucalipto retira grandes quantidades de nutrientes do sistema (Amaral, 1999). Se a capacidade de suprimento pelo solo ou por práticas

de manejo não for satisfatória, é provável que em poucos ciclos de corte o ambiente chegue a um mínimo. Para povoamento de *Eucalyptus saligna* aos 8 anos de idade, Poggiani et al. (1983) estimaram o conteúdo de nutrientes na biomassa epígea, em kg ha⁻¹ em 218 de N; 176 de K, 28 de P; 186 de Ca e 41 de Mg. Avaliou-se também o conteúdo dos nutrientes no solo até a profundidade de 1 m, sendo que os resultados obtidos demonstraram que, se considerarmos a exploração da biomassa epígea total, no próximo ciclo de corte não haveria quantidade suficiente no solo para atender às demandas do eucalipto, levando-se o sistema a exaustão.

No entanto, se a exploração florestal promover a retirada apenas do lenho das árvores, significativa quantidade de nutrientes permanece no sítio. O lenho das árvores representa de 50 a 67 % da biomassa total, porém, este possui apenas 12 a 17% dos macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) imobilizados na porção epígea das árvores (Poggiani et al., 1984). Enquanto isso, as folhas, que representam de 16 a 28 % da biomassa total, contém 50 a 65% dos macronutrientes. Portanto, se a exploração florestal extrair apenas o lenho das árvores, a exportação de minerais do sistema será relativamente pequena, se compararmos a retirada de todos os componentes do indivíduo: folha, casca, ramo e lenho. Não obstante, há que se considerar que em pequenos povoamentos florestais típicos de SAF e SSP ou em plantações menos tecnificadas há grandes dificuldades de exploração simplesmente do lenho, sendo comum a extração tanto do lenho, casca e até galhos, o que leva a uma remoção intensa de macronutrientes.

Em povoamento de *Eucalyptus saligna* (11 anos) com 452 árvores ha⁻¹ implantado em um Argissolo de fertilidade média e plantio de *Pinus caribaea* (14 anos) com 990 árvores ha⁻¹ assentado em Latossolo muito arenoso de baixa fertilidade, Poggiani (1985) avaliou a ciclagem de nutrientes nesses plantios. Apesar das diferenças entre os povoamentos (classe de solo, idade e densidade

arbórea), os mesmos apresentavam biomassa epígea semelhante (185 Mg ha⁻¹ para eucalipto e 153 Mg ha⁻¹ para pinus), tornando os resultados obtidos pelo autor válidos para comparar algumas particularidades dessas espécies. O pinus retornou anualmente, via queda de folhas, duas vezes mais nitrogênio do que o eucalipto. Por outro lado, o eucalipto devolveu ao solo duas vezes mais cálcio e também mais magnésio. O referido trabalho mostra diferenças marcantes entre as duas espécies, o que certamente refletirá nos níveis de nutrientes presentes no solo, ao compararmos estas coberturas quando conduzidas na mesma classe de solo, o que não é o caso do trabalho relatado acima, onde não se observaram discrepâncias na fertilidade do solo entre os povoamentos, certamente em razão dos mesmos estarem implantados em solos distintos, eucalipto em Argissolo mesotrófico e pinus em Latossolo distrófico.

Pastagens geralmente apresentam maiores índices de fertilidade do que ambientes florestais. Reflorestamentos geralmente apresentam elevação dos atributos de acidez em relação às pastagens (Alvarenga, 1996). Em área de pastagem sem qualquer prática de correção e adubação do solo, Araújo (1996) observou elevação dos teores de K⁺ e Na⁺ na camada de 0-10 cm, em relação a SAF fertilizado e mata nativa. Maiores teores de K⁺ e Mg²⁺ em solos sob pastagem e capoeira do que em solos cobertos por mata natural e eucalipto, foram atribuídos à queima da vegetação que deu origem a capoeira e a pastagem, bem como à imobilização dos nutrientes no componente biológico nos sistemas de mata e eucalipto (Sodré, 1999). A prática de queima das pastagens pode aumentar os índices de fertilidade a curto prazo, porém, reduz os teores de nutrientes no mantilho, material em decomposição oriundo das pastagens depositado sobre o solo, e no material senescente, reduzindo assim, a quantidade de nutrientes que retornam ao solo via material morto a longo prazo (Heringer & Jacques, 2002).

Vendramini et al. (2007) destacam que cerca de 30% dos nutrientes ingeridos por bovinos são retidos no corpo do animal, sendo o restante eliminado na forma de excretas. Entretanto, destacam os autores que a deposição das excretas geralmente é desuniforme, sendo que em áreas sob pastoreio contínuo a distribuição das excretas segue uma distribuição binomial negativa, o que leva à formação de zonas de fertilidade do solo diferenciadas em uma pastagem. As práticas para minimizar esta distribuição irregular e melhorar a ciclagem de nutrientes, citadas por Vendramini et al. (2007) são: alternar locais de sombreamento e dessedentação, reduzir os períodos de pastejo, estimular a macrofauna do solo, consorciar gramíneas e leguminosas, além é claro, da fertilização artificial.

Existe a possibilidade de que algumas espécies arbóreas utilizadas em SAF e SSP promovam melhorias da fertilidade do solo. Solo revestido por *Acacia mangium* apresentou teores de nutrientes (N, P, Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺) maiores do que aqueles encontrados em solo revestido por *Eucalyptus grandis* (Garay et al., 2003), o que indica que a primeira espécie imobiliza menores quantidades de nutrientes em sua biomassa ou explora mais eficientemente os recursos disponíveis. Leguminosas arbóreas nativas integrantes de SSP promoveram aumento nos teores de P do solo sob a copa das árvores (Dias & Souto, 2006). Destacam os autores que acréscimos na fertilidade do solo em SSP podem ser observados mais comumente quando se utilizam leguminosas arbóreas.

2.4.3 Alterações na dinâmica da fração orgânica do solo

Em solos de regiões tropicais úmidas, devido à baixa atividade da fase mineral e das condições químicas restritivas, o carbono orgânico do solo (COS) tem um papel primordial em praticamente todos os processos edafológicos, desde a agregação até o suprimento de nutrientes às plantas (Zinn et al., 2002). Apesar de sua reduzida proporção em solos minerais tropicais, a matéria

orgânica do solo (MOS) exerce grande influência sobre propriedades físicas e químicas do solo (Silva & Mendonça, 2007). Em termos de fertilidade do solo, quanto maior o conteúdo de matéria orgânica em solos bem drenados, maior será a sua capacidade de troca catiônica. Lopes & Guilherme (2007) consideram a MOS como um dos indicadores mais simples e importantes para se avaliar a qualidade do solo em agroecossistemas. Novais et al. (2007) destacam que a destruição de horizontes orgânicos ou ricos em MOS nos trópicos, poderá tornar um sistema que se auto-sustenta em outro altamente dependente de fertilizações maciças, particularmente ao se considerar culturas perenes como pastagens e reflorestamentos.

Além do papel central na manutenção da qualidade do solo, temas relacionados à dinâmica do carbono no solo constituem preocupação ambiental crescente. “O solo é um dos compartimentos que mais armazenam carbono (C) na Terra, de modo que, em termos globais, o primeiro metro superior do solo armazena 2,5 vezes mais C que o presente na atmosfera (Lal, 2002 citado por Rangel & Silva, 2007)”.

O acúmulo de matéria orgânica no solo não é uma função inversa da taxa de decomposição da serrapilheira (Coleman 1988, citado por Sodré, 1999), sendo que a difícil decomposição da serrapilheira de reflorestamentos pode não favorecer o aumento de carbono orgânico no solo. Zinn et al. (2002) discorrem que a literatura mundial referente ao COS apresenta diferentes tendências para alterações promovidas por reflorestamentos, observando-se em alguns casos perdas significativas, enquanto em outros não detectam-se mudanças. Também, é relatado tanto para *Pinus* quanto para *Eucalyptus*, incrementos no conteúdo de COS em relação à situação original. Argumentam os autores que estes resultados aparentemente contraditórios certamente se devem às variações das condições experimentais, tais como clima e tipo de solo, métodos de preparo de solo,

manejo florestal, densidade arbórea e idade dos povoamentos; fatores que afetam a adição e decomposição de COS em diferentes intensidades.

As atividades humanas exercidas em ambientes estáveis tendem a causar mais perdas do que ganhos de carbono, o que conduz à redução da qualidade do solo (Baretta et al., 2005). Alguns motivos básicos podem levar à perda de MOS (Zinn, 1998) quando se converte uma vegetação nativa em florestas plantadas: oxidação biológica da MOS original do solo promovida pelo preparo e cultivo; baixa incorporação inicial de serrapilheira da floresta jovem; decomposição muito lenta da serrapilheira; oxidação acelerada de frações orgânicas mais lábeis da serrapilheira. Além disso, a incorporação de carbono ao solo está mais relacionada à quantidade de biomassa de raízes de determinada vegetação do que simplesmente ao aporte de resíduos sobre o solo e a processos de decomposição, havendo uma tendência de vegetações graminóides apresentarem maior estoque de carbono no solo (Faria et al., 2008).

Embora reflorestamentos contribuam efetivamente para o sequestro de C em sua biomassa, o impacto de plantações florestais no estoque de carbono no solo é pouco claro. Após ampla revisão de estudos realizados na Nova Zelândia, Davis & Condrón (2002) identificaram que a conversão de áreas de pastagens em reflorestamentos de *Pinus* sp, de modo geral, levou à redução do estoque de carbono orgânico (de 47 Mg ha⁻¹ para 43,6 Mg ha⁻¹) no solo na camada de 0-10 cm em povoamentos mais jovens. No entanto, em áreas reflorestadas há mais de 20 anos, houve recuperação das quantidades originais, independente da classe de solo envolvida na conversão de pastagem para reflorestamento: podzóis, vulcânicos, arenosos e aqueles de argila de atividade alta. Argumentam os autores que a redução observada inicialmente, até os 20 anos, pode estar relacionada ao conteúdo inicial de carbono no solo, uma vez que os reflorestamentos geralmente são implantados em solos inférteis e erodidos, levando-se a supor que o conteúdo original de C no solo seja baixo.

Em algumas situações verificam-se teores de COS maiores sob plantio de eucalipto do que em área sob vegetação nativa, denotando que essas plantações podem ser acumuladoras de carbono no solo (Corazza et al., 1999; Jesus, 2009). Por outro lado, observam-se reduções nos teores de COS na camada de 0-10 cm, em povoamentos florestais no estágio inicial de desenvolvimento (32 meses) (Gama-Rodrigues et al., 2008). Povoamentos de *Acacia mangium* apresentaram maiores conteúdos de COS do que os encontrados em povoamentos de *Eucalyptus grandis*, fato provavelmente associado à maior concentração de nutrientes apresentada pela primeira espécie, além da maior deposição apresentada pela *Acacia* sp. (Garay et al., 2003).

Para povoamentos de pinus longevos no Brasil, há relatos de redução da MOS na camada de 0-40 cm (Cóser et al., 1990), o que está provavelmente associado à menor taxa de decomposição da serrapilheira de pinus e, portanto, à menor incorporação ao solo da manta orgânica. Por outro lado, Nair et al. (2007) em SSP constituído por *Pinus elliotti* e *Paspalum notatum* implantado em solos arenosos na Flórida, identificaram que este sistema é mais eficiente em seqüestrar carbono a maiores profundidades do solo (50 a 100 cm) do que pastagens solteiras (Nair et al, 2007), o que está relacionado à presença de raízes das árvores a maiores profundidades, uma vez que detectou-se que o C estocado na camada de 50 a 100 cm é proveniente de plantas C₃ (oriundas do próprio *Pinus* sp.).

Há vários relatos sobre o aumento ou manutenção do estoque de COS em áreas de pastagens tropicias em relação à vegetação nativa (Alvarenga, 1996; Corazza et al., 1999; Neves 2002; Numata et al., 2002; Braz et al., 2004). Tal fato demonstra que a participação dessas plantas em ambientes agrossilvipastoris é fundamental para a manutenção da qualidade do solo. Neves (2002) identificou redução no COS em sistema agrossilvipastoril e argumenta que este fato está

provavelmente relacionado ao curto intervalo de implantação, bem como ao excessivo revolvimento de solo inicial praticado neste sistema.

Em SSP composto por consórcio de gramíneas e *Gliricidia sepium* (850 árvores por hectare), Soca et al. (2006) verificaram que a velocidade de decomposição das excretas animais foi mais rápida do que a encontrada em pastagens sem árvores. Enquanto no sistema silvipastoril, a taxa de decomposição atingiu 90% em 10 dias, na época seca do ano, na pastagem não consorciada apenas 45% do peso das excretas foi perdido no mesmo intervalo de tempo. A maior velocidade de decomposição pode evitar a perda de matéria orgânica e de nutrientes voláteis como nitrogênio e enxofre, além de tornar o processo de ciclagem de nutriente mais rápido. Os autores ainda consideram que a presença de excretas não decompostas, ou presentes por maior intervalo de tempo em pastagens, pode propiciar locais para a proliferação de parasitas e vetores de doenças.

Alterações na dinâmica da MOS provocadas pelo manejo do solo parecem estar mais associadas à técnica de preparo utilizada e secundariamente à cultura instalada. Assim, tanto atividades silvícolas quanto pastoris, que mobilizem o solo a maiores intervalos de tempo, tendem a conservar quantidades de carbono superiores àquelas observadas em sistemas que utilizam maior revolvimento do solo ou que possuam menor cobertura morta.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Solo e clima

O estudo foi realizado no município de Lavras – MG, em área pertencente ao Campus da Universidade Federal de Lavras (UFLA), na fazenda experimental do Departamento da Zootecnia (DZO). O clima da região segundo a classificação de Koppen é denominado CWa, ou seja, temperado chuvoso (mesotérmico) com inverno seco e verão chuvoso (Dantas et al., 2007). Pela classificação de Thornthwaite, é designado como B_{3r}B'₃a', úmido, com pequeno déficit hídrico, mesotérmico, evapotranspiração potencial de 899 mm ao ano (Dantas et al., 2007). A precipitação e temperatura média da região foram de 1530 mm e 19,4° C respectivamente, para a série de dados de 1961 a 1990 e atualmente, para a série de 1991 a 2004 é de 1460 mm e 20,4° C (Dantas et al., 2007).

O solo avaliado foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico (Empresa Brasileira de Pesquisa Argopecuária - EMBRAPA, 1999), definido genericamente como solo constituído por material mineral com argila de atividade baixa e horizonte B textural imediatamente abaixo de horizonte A ou E. Próximo ao local do presente estudo, este solo, anteriormente designado por Podzólico Vermelho-Amarelo distrófico A moderado, foi preteritamente avaliado por Lima (1999), cuja descrição morfológica e caracterização físico-química e mineralógica é apresentada em anexo (TABELAS 1A, 2A e 3A).

Localmente certificou-se que os pontos de amostragem estavam situados dentro da mesma classe de solo (Argissolo Vermelho-Amarelo- PVA) através de levantamento expedito (através de exame morfológico de perfis em cortes de estrada e de curvas de nível). Tomou-se também amostras de solo na camada superficial (0-20 cm) nos diversos tratamentos para se certificar sobre a

similaridade da textura do solo e a densidade de partículas entre os pontos amostrais (TABELA 1).

TABELA 1 Granulometria e densidade de partículas do solo em seis diferentes coberturas (médias de 0-20 cm)

Coberturas	Profundidade de 0-20 cm					D _p kg dm ⁻³
	ar. grossa.....g kg ⁻¹	ar. fina	silte	argila	silte/argila	
T1	438,7	112,5	116,2	332,6	0,35	2,52
T2	460,0	80,0	106,2	353,8	0,30	2,51
T3	393,0	63,3	163,7	380,0	0,43	2,52
T4	358,7	107,6	127,5	406,2	0,31	2,53
T5	378,7	104,2	107,0	410,1	0,26	2,52
T6	312,9	112,2	148,7	426,2	0,35	2,50

As áreas amostradas, considerando a profundidade de 0-20 cm, apresentam textura argilo-arenosa de acordo Santos et al. (2005). Há algumas pequenas diferenças nos teores de argila e areia entre as parcelas estudadas, consideradas irrelevantes e decorrentes da variabilidade natural dos solos. A relação silte/argila observada em todas as parcelas experimentais denota um avançado grau de intemperismo dos solos avaliados. Andrade (1979) avaliou a mineralogia da fração argila de Argissolo Vermelho-Amarelo, anteriormente designado de Podzólico Vermelho-Amarelo, na região de Lavras e identificou que a proporção de caulinita se situa em torno de 70%, considerando os horizontes A, B e C. A densidade de partículas das parcelas amostradas apresentou resultados muito semelhantes, o que indica que esses solos derivam do mesmo material de origem, gnaisse leucocrático pertencente ao Complexo Lavras (Rocha, 1982). Na cobertura T6 (mata), apesar da distância dos demais (cerca de 2 km), o valor de D_p encontrado é praticamente igual ao encontrado nos demais, o que denota a similaridade entre as áreas amostradas.

Apesar deste solo ser categorizado como distrófico, trabalhos de Rocha (1982) e Lima (1999) realizados próximos ao local do estudo, demonstram que a saturação por bases do horizonte A (foco desta investigação) se situa pouco abaixo de 50%, o que denota o caráter mesotrófico deste solo superficialmente.

A declividade local se situa em torno de 15% e a vegetação original era constituída por fisionomias florestais (cerradão e floresta semidecídua). Abaixo é apresentada fotografia do perfil de solo, tomada na área sob sistema silvipastoril (FIGURA 1), com as divisões principais dos horizontes.

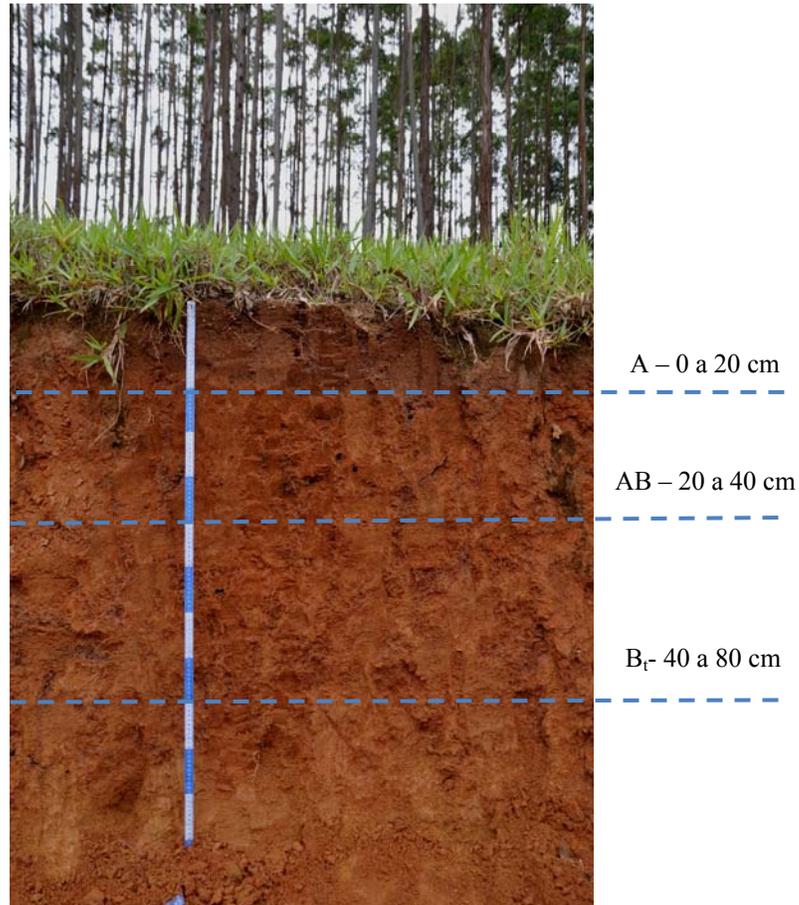


FIGURA 1 Argissolo Vermelho-Amarelo sob SSP (Campus UFLA)

3.2 Histórico e seleção das áreas estudadas

Em área pertencente à fazenda experimental do DZO (Campus UFLA) foram implantadas as espécies arbóreas, *Pinus tecunumanii* e *Eucalyptus grandis*, há cerca de 15 anos, em espaçamento de 3 x 2 m, com o objetivo de produzir sementes (Davide, informação verbal³). Anteriormente à implantação dos povoamentos florestais, a gleba era utilizada por cultivos agrícolas anuais sob preparo convencional de solo (aração e gradagem). Com a ocorrência de incêndios freqüentes, os povoamentos sofreram decréscimos na densidade arbórea e gramíneas pertencentes a áreas adjacentes ocuparam as bordas e algumas regiões interiores, constituindo um sistema silvipastoril (SSP) de maneira acidental (FIGURA 2). O último registro de incêndio ocorreu há cerca de quatro anos, relatado pelos servidores do DZO como de alta severidade.

A área amostrada sob condição natural, situada próxima à Reitoria da UFLA apresenta características de Floresta Estacional semidecidual em estágio secundário de regeneração, designada doravante de mata (FIGURA 3). Nesta gleba foram implantadas árvores de *Eucalyptus* sp, há mais de 50 anos, e posteriormente formou-se subbosque com espécies nativas, de modo que atualmente os indivíduos de *Eucalyptus* sp. se apresentam esparsos e com grande volume, havendo predomínio de espécies nativas. Inexistem nesta área evidências recentes (50 anos) de corte de árvores e de incêndios, por não haver fragmentos de carvão na camada superficial do solo bem como marcas no tronco das árvores.

³ Comunicação pessoal segundo Professor Antônio Cláudio Davide (DCF-UFLA)



FIGURA 2 Sistema silvipastoril (pinus, eucalipto e braquiária)



FIGURA 3 Floresta Estacional semidecidual secundária (mata)

3.3 Caracterização e localização das parcelas experimentais

Identificou-se diferentes coberturas vegetais na área ocupada pelo SSP, caracterizadas por apresentarem recobrimentos de gramínea + serrapilheira, serrapilheira e gramínea simplesmente. Estas situações são normalmente encontradas em ambientes silvipastoris e podem promover impacto diferenciado sobre o solo e são, portanto, por este estudo investigadas.

Selecionou-se 5 coberturas vegetais no SSP (FIGURA 4), sendo todas submetidas a pisoteio predominantemente por animais bovinos, sob sistema de pastoreio contínuo. O manejo dos animais adotado representa a prática tradicional de grande parte das fazendas pecuárias brasileiras, caracterizado pela quase inexistência de controle de lotação, por pastoreio contínuo, forte pressão de pastejo ao longo do ano e carga animal variável.

A condição natural representada pela mata é utilizada como testemunha das mudanças provocadas pelo uso do solo por atividades silvipastoris.

Este estudo representa uma rara oportunidade para avaliar-se as alterações nas propriedades do solo promovidas por reflorestamentos de *Pinus* e *Eucalyptus*, pastagem e consórcio dessas culturas, conduzidos por períodos de tempo semelhantes, cerca de 15 anos, e implantados sob as mesmas condições edafoclimáticas. Além disso, este estudo permitirá avaliar o impacto promovido pela presença continuada de animais bovinos em diferentes situações normalmente encontradas em ambientes silvipastoris.

As características básicas e localização das coberturas avaliadas são descritas na TABELA 2.



T1: *Pinus tecunumanii*



T2: *Brachiaria decumbens*



T3: *P.tecunumanii* + *B. decumbens*



T4: *E.grandis* sp. + *B. decumbens*



T5: *Eucalyptus grandis*



T6: Mata

FIGURA 4 Diferentes tipos de coberturas vegetais no SSP (T1, T2, T3, T4 e T5) e mata (T6)

TABELA 2 Características principais das 6 diferentes coberturas avaliadas

Cobertura	Espécies	Material sobre o solo	Posição ecológica	Densidade (árvores ha ⁻¹)	Área basal (m ² ha ⁻¹)	Coordenadas geográficas
T1 (pinus)	<i>Pinus tecunumanii</i>	serrapilheira	Interior do povoamento	1054	1189,08	0502850 W; 7651451 S
T2 (braquiária)	<i>Brachiaria decumbens</i>	gramínea	Entre faixas de árvores (70 m de pastagem)	-	-	0502806 W; 7651563 S
T3 (pinus+braquiária)	<i>Pinus tecunumanii</i>	serrapilheira+gramínea	Borda do povoamento	1284	2079,27	0502772 W; 7651548 S
T4 (eucalipto+braquiária)	<i>Eucalyptus grandis</i> + <i>Brachiaria decumbens</i>	serrapilheira+gramínea	Borda do povoamento	781	743,31	0502805 W; 7651685 S
T5 (eucalipto)	<i>Eucalyptus grandis</i>	serrapilheira	Interior do povoamento	625	515,68	0502793 W; 7651725 S
T6 (mata)	Nativas + <i>Eucalyptus</i> sp.	serrapilheira	Interior da floresta	-	1189,08	0502061 W; 7652541 S

3.4 Procedimentos de campo

Todos os procedimentos de campo foram realizados entre os dias 25 e 30/03/2009. Para cada tratamento (cobertura) foi alocada uma parcela representativa de dimensões 20 m X 50 m, onde se realizou a amostragem de solos e material vegetal em 4 pontos alocados aleatoriamente. Tomou-se o cuidado, entretanto, de alocar os pontos de coleta a uma distância mínima de 1,5 m de árvores e trilhos. Além disso, amostrou-se sempre em área sob cobertura (seja de serrapilheira ou de gramínea), ou seja, evitando-se áreas de solo exposto.

3.4.1 Coleta e quantificação do material vegetal

Em cada ponto de amostragem selecionado coletou-se o material vegetal que recobria o solo em parcelas de 0,25 m². Onde haviam gramíneas, as mesmas foram cortadas rente ao solo e colocadas em saquinhos de papel. Sob cobertura apenas de serrapilheira florestal, coletou-se todo o material incluindo folhas, cascas e galhos, em diferentes graus de decomposição. Nos tratamentos que apresentavam gramíneas e serrapilheira, coletaram-se ambos.

Os materiais vegetais foram secos em estufa a 70° C, até peso constante (48 a 72 horas), sendo posteriormente quantificados em balança de precisão de 0,01g. Após a secagem, para os materiais vegetais provenientes das coberturas T3 e T4 separou-se a serrapilheira, resíduo florestal, do material proveniente de gramíneas.

3.4.2 Coleta de amostras de solo

As coletas de solo foram realizadas nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, repetidas quatro vezes por profundidade e tomando-se amostras deformadas e indeformadas. Coletaram-se 4 amostras deformadas (de torrão) com uso de enxadão para análises de fertilidade, granulometria e estabilidade de agregados,

em cada tratamento (cobertura) e profundidade, gerando um total de 48 amostras. Da mesma forma, coletaram-se 48 amostras indeformadas para a caracterização da estrutura do solo com a utilização do amostrador de Uhland, em cilindros com dimensões médias de 8,25 cm de altura por 6,90 cm de diâmetro interno.

A amostragem se restringiu à camada de 0-20 cm porque a literatura consultada demonstra que os impactos promovidos pelo pisoteio animal (bovinos) estão normalmente restritos a esta camada. A ação da vegetação sobre o solo também se verifica mais pronunciadamente na camada superficial.

3.4.3 Teste de resistência do solo à penetração

Em cada parcela alocada para a amostragem de solo e material vegetal, realizou-se o teste do penetrômetro. A resistência do solo à penetração foi determinada com penetrômetro de impacto modelo IAA/PLANALSUCAR STOLF (Stolf et al., 1983), sendo realizadas 8 repetições para cada tratamento (cobertura). A transformação dos dados obtidos com o penetrômetro, denominada de impactos/dm, para kgf cm^{-2} , foi feita com base na fórmula dos holandeses, conforme descrito em Stolf (1991). Posteriormente os dados foram multiplicados pelo fator 0,098, para expressar os resultados em MPa.

Foram retiradas amostras de solo para determinação de umidade pelo método gravimétrico, nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, repetidas por três vezes para cada profundidade, obtendo-se 9 amostras por cobertura. Este procedimento foi adotado para se certificar sobre os padrões de umidade existentes nas coberturas, uma vez que valores muito distintos para este atributo invalidam o teste de resistência do solo à penetração.

3.5 Procedimentos e análises laboratoriais para amostras deformadas

3.5.1 Preparo das amostras de solo

Amostras deformadas (de torrão) foram secas ao ar e passadas em um conjunto de peneiras. Agregados que atravessaram a peneira com malha de 7,93 mm e ficaram retidos na peneira de 4,76 mm foram utilizados para avaliação da estabilidade de agregados. A fração que atravessou a peneira com malha de 2 mm, chamada de terra fina seca ao ar (TFSA), foi dividida em 2 subamostras para serem utilizadas nas análises granulométricas e de fertilidade.

3.5.2 Granulometria e densidade de partículas

As subamostras da TFSA foram submetidas à análise granulométrica pelo método do densímetro (EMBRAPA, 1997). A fração areia (0,05-2 mm) foi separada por peneiramento úmido, e as frações silte (0,05-0,002 mm) e argila (< 0,002 mm) foram determinadas em meio líquido com base na Lei de Stokes.

A argila dispersa em água foi determinada sem a utilização de dispersante químico. A seguir determinou-se o índice de floculação (EMBRAPA, 1997). A densidade de partículas foi determinada pelo método do balão volumétrico (EMBRAPA, 1997).

3.5.3 Estabilidade de agregados

Os agregados obtidos (item 3.5.1) foram submetidos ao teste de estabilidade de agregados, determinada por peneiramento em água após pré-umidhecimento lento por capilaridade, durante 24 horas (Kemper & Rosenau, 1986). Utilizaram-se peneiras de malhas correspondentes a 2; 1; 0,5; 0,25; e 0,105 mm para a separação das classes de tamanho dos agregados. O diâmetro médio geométrico (DMG) foi calculado através da seguinte expressão:

$$DMG = \exp \left[\frac{\sum (w_i * \ln x_m)}{\sum w_i} \right]$$

Em que: w_i - massa dos agregados de cada classe de tamanho; $\sum w_i$ - massa total da amostra; $\ln x_m$ - logaritmo natural do diâmetro médio de cada classe de tamanho.

3.5.4 Fertilidade

As demais subamostras de TFSA obtidas foram enviadas ao Laboratório de Análise de Solos do Departamento de Ciência do Solo (UFLA), onde foram realizadas análises de rotina, descritas simplificada e a seguir. Foram determinados o pH em água e os teores de matéria orgânica pelo método de Walkley & Black. Os teores de Ca, Mg e Al foram extraídos com solução trocadora de KCl 1 N, sendo que Ca e Mg determinados por absorção atômica e Al por titulação com NaOH 0,025 mol.L⁻¹. Através do extrator Melich-1 obteve-se a fração lábil de P e K, sendo que o teor de potássio trocável determinado por espectrofotometria de ionização de chama e o fósforo pelo método de azul de Mo. Todas essas análises químicas foram realizadas de acordo com EMBRAPA (1997).

3.6 Procedimentos e análises laboratoriais para amostras indeformadas

3.6.1 Preparo e saturação das amostras

As amostras indeformadas foram aparadas em uma de suas faces no campo e, posteriormente cobertas com tecido (morim) na face aparada. No laboratório as amostras foram acertadas em ambas as faces com o uso de estilete de modo que o monólito ficasse rente ao cilindro.

Posteriormente foram colocadas em bandejas plásticas com a parte inferior do solo, devidamente coberta com o tecido, virada para baixo. Posteriormente, acrescentou-se uma lâmina de água destilada de aproximadamente 3 cm no fundo da bandeja, para se promover lento umedecimento. Após algumas horas (em torno de 4 horas), adicionou-se mais

água destilada até a cobertura quase completa do monólito, restando cerca de 1 cm da parede do cilindro livre de água. Decorrido um período de 48 horas as amostras foram pesadas e levadas à unidade de sucção e submetidas a uma tensão de 6 KPa (60 cm). Após cessar a extração de água da amostra na referida tensão (após 48 horas) pesou-se a amostra. Novamente saturou-se a amostra como descrito anteriormente, levando-a posteriormente para o permeâmetro para se realizar o teste de condutividade hidráulica saturada.

3.6.2 Porosidade e densidade do solo

A densidade do solo foi determinada segundo Blake & Hartge (1986) através do método do cilindro. A porosidade total e distribuição de poros por tamanho foi determinada de acordo com os princípios do método de dessorção de água descrito por Danielson & Sutherland (1986). A microporosidade foi considerada o conteúdo volumétrico de água, equilibrado em mesa de tensão a 6 KPa, e a macroporosidade calculada por diferença entre porosidade total e a microporosidade (EMBRAPA, 1997).

3.6.3 Condutividade hidráulica do solo saturado

A condutividade hidráulica do solo saturado (K_s) foi determinada por meio do permeâmetro de carga constante, com o uso das amostras indeformadas saturadas. Considerou-se para efeito de cálculo, o valor estabilizado após 3 leituras.

3.7 Análises estatísticas

Adotou-se o delineamento inteiramente casualizado, em parcelas subdivididas no espaço, em que as parcelas foram as 6 diferentes coberturas vegetais (item 3.3) e as subparcelas constituíram as 2 profundidades avaliadas. O modelo usado no delineamento foi:

$$Y_{ij} = m + C_i + \text{erro (parcela)} + P_j + CP_{ij} + \text{erro (subparcela)}$$

Em que: Y_{ij} - valor de cada observação; m – constante comum a todas as observações; C_i - efeito da cobertura i ; erro (parcela) - erro atribuído ao efeito da repetição dentro da parcela i ; P_j : efeito da profundidade j ; CP_{ij} : efeito da interação entre a cobertura i e a profundidade j ; erro (subparcela): erro atribuído ao efeito da repetição dentro da subparcela.

Utilizou-se o programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2000) para a análise dos dados, conforme descrito a seguir. Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANAVA) para se verificar diferenças ao nível de 5% de significância, promovidas pelas coberturas, profundidades e pela interação cobertura x profundidades. Quando constatadas diferenças significativas pelo teste F, os resultados foram submetidos a teste para comparação de médias. Adotou-se o teste de Scott & Knott a 5% de probabilidade, uma vez que o mesmo é mais adequado para dados que apresentam maior variabilidade, típicos de atributos de solo.

3.7.1 Comparações múltiplas

Como os tratamentos são estruturados, procedeu-se complementarmente às comparações múltiplas, estabelecendo-se contrastes mutuamente ortogonais (TABELA 3) para se testar efeitos de interesse, com base na estrutura apresentada na FIGURA 5, para os atributos físicos e de fertilidade do solo.

TABELA 3 Contrastes mutuamente ortogonais para a comparação dos atributos físicos e de fertilidade do solo

Contraste	Estimativa	Efeito testado
C1	$Y_1 = m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5 - 5m_6$	pisoteio X ausência de pisoteio
C2	$Y_2 = -3m_1 + 2m_2 + 2m_3 + 2m_4 - 3m_5$	braquiária X ausência de braquiária
C3	$Y_3 = 2m_2 - m_3 - m_4$	braquiária pura X braquiária consor.
C4	$Y_4 = m_3 - m_4$	pinus consorc. X eucalipto consor.
C5	$Y_5 = m_1 - m_5$	pinus X eucalipto

Onde: m_1, m_2, m_3, m_4, m_5 e m_6 , representam as médias obtidas para os tratamentos T1, T2, T3, T4, T5 e T6 respectivamente; Y_1, Y_2, Y_3, Y_4 e Y_5 representam os valores estimados para os contrastes mutuamente ortogonais C1, C2, C3, C4 e C5, respectivamente.

O efeito promovido pelo pisoteio do gado (contraste C1) foi avaliado pela comparação entre o ambiente de mata nativa e as diferentes coberturas presentes no sistema silvipastoril.

Visando avaliar modificações promovidas pela presença de gramíneas, compararam-se dentro das distintas coberturas presentes no SSP, ambientes onde estas plantas estavam presentes e ausentes, estabelecendo-se o contraste C2. O efeito da pastagem pura comparada à pastagem consorciada foi avaliado pelo contraste C3.

Por meio do contraste C4 confrontou-se o efeito promovido pelo pinus comparado ao efeito do eucalipto. O consórcio de gramíneas com pinus foi comparado ao consórcio com eucalipto pelo contraste C5.

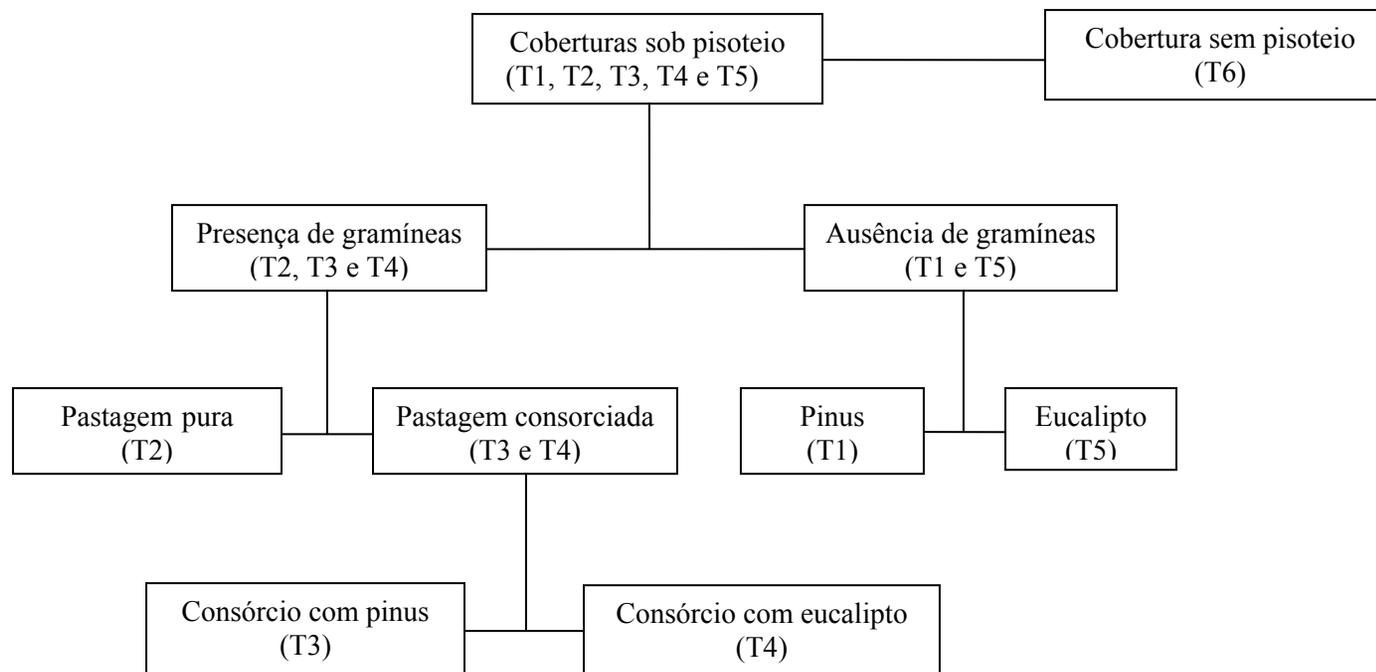


FIGURA 5 Estrutura das coberturas para análise múltipla de atributos físicos e de fertilidade do solo

4) RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Material vegetal acumulado sobre o solo

As quantidades de material vegetal, vivo e morto, presentes sobre o solo no momento da amostragem são apresentadas na FIGURA 6. Os valores expressos em Mg ha^{-1} (ton ha^{-1}), referem-se ao conteúdo total (serrapilheira + gramínea) e à quantidade de material graminoso (separadamente da serrapilheira florestal).

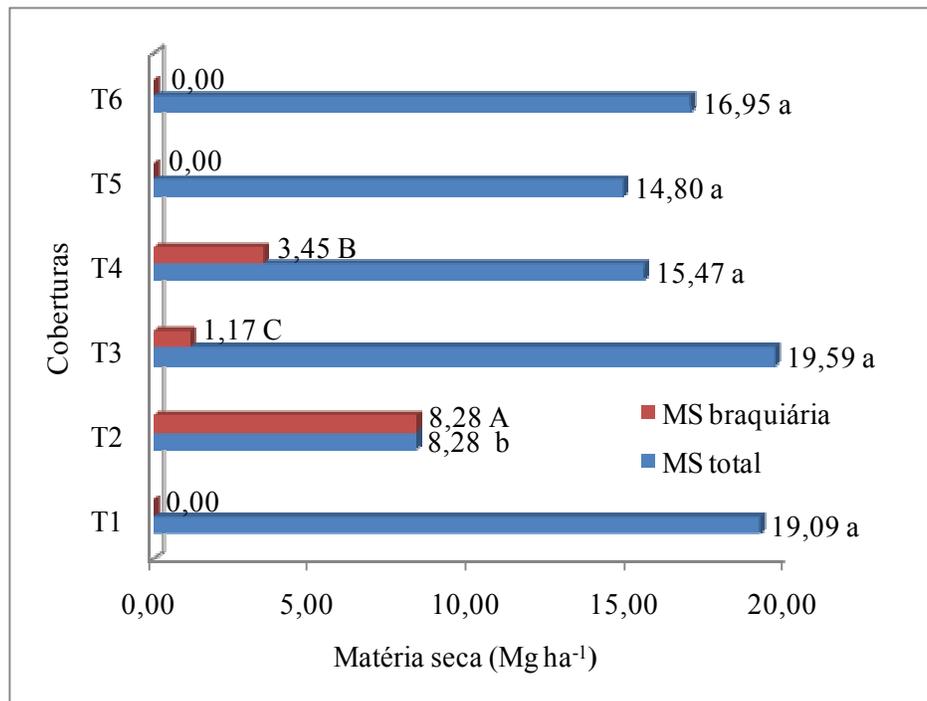


FIGURA 6 Material vegetal acumulado sobre o solo, em seis diferentes coberturas vegetais. Médias seguidas por letra distintas, minúsculas ao se referirem a MS total e maiúsculas a MS braquiária, diferem entre si pelo teste de Skott-Knott a 5% de significância.

Foram encontrados maiores valores de matéria seca total (MST) nas coberturas que apresentavam componente arbóreo (T1, T3, T4, T5 e T6), sendo que apenas a pastagem não consorciada (T2) apresentou MST estatisticamente menor do que os demais tratamentos. Para os ambientes que apresentavam extrato graminoso, entretanto, T2 apresentou conteúdo de matéria seca de braquiária estatisticamente mais elevado que T3 (pinus + braquiária) e T4 (eucalipto + braquiária), sendo que T3 apresentou as menores quantidades de forragem.

Numericamente os tratamentos revestidos por *Pinus tecunumanii* (T1 e T3) apresentaram os maiores valores de MST, cerca de 19 Mg ha⁻¹, seguido pela mata, cerca de 17 Mg ha⁻¹. Coberturas revestidas por *Eucalyptus grandis* promoveram um acúmulo de material vegetal sobre o solo de aproximadamente 15 Mg ha⁻¹.

Acúmulos mais elevados de serrapilheira em povoamentos de *Pinus* sp. são normalmente encontrados na literatura. Valores de 30 a 37 Mg ha⁻¹ foram relatados por Lopes (1983) e Zinn (1998). A quantidade elevada de serrapilheira encontrada em *Pinus* sp, provavelmente está associada à maior resistência do material à decomposição biológica, hidrofobicidade das acículas e condições climáticas muito secas em algumas áreas como as de cerrado (Zinn, 1998). Os valores encontrados neste estudo, para parcelas revestidas por *Pinus* (T1 e T3) diferem consideravelmente daqueles relatados pelos pesquisadores citados anteriormente, fato que pode estar associado às diferenças climáticas, ocorrência de incêndios na área deste estudo (última ocorrência há quatro anos) e à densidade arbórea, fatores que interferem diretamente no acúmulo de serrapilheira. Entretanto, valores semelhantes foram relatados por outros autores (Poggiani, 1985; Cóser et al., 1990).

Para povoamentos de *Eucalyptus* sp. no Brasil, encontram-se descritas quantidades acumuladas de serrapilheira que variam 8 a 14 Mg ha⁻¹ (Poggiani,

1985; Cóser et al., 1990; Gama-Rodrigues et al., 1997; Zinn,1998). O acúmulo de serrapilheira encontrado nas parcelas revestidas por *Eucalyptus* sp. (T4 e T5) são semelhantes aos maiores valores relatados na literatura consultada, sendo que as variações observadas nos estudos supracitados estão relacionadas às diferenças climáticas, idade, densidade dos povoamentos, bem como à ampla gama de espécies de *Eucalyptus* sp. utilizadas nas pesquisas. Fato que merece destaque é o acúmulo diferenciado em T4 (eucalipto + braquiária) e T5 (eucalipto). Enquanto em T4, diagnosticou-se uma quantidade de 12 Mg ha⁻¹, em T5 houve um acúmulo de 14,8 Mg ha⁻¹, fato provavelmente associado à presença de *Brachiaria decumbens* em T4, uma vez que a maior densidade arbórea em T4 (780 árvores ha⁻¹) do que em T5 (625 árvores ha⁻¹), certamente promoveria maior deposição de serrapilheira e conseqüentemente, maior acúmulo. Portanto, a presença de braquiária em T4 parece promover maior taxa de decomposição da serrapilheira do que em T5, suposição que merece maiores investigações.

Na Zona da Mata Mineira o acúmulo de serrapilheira em solo revestido por *Pinus* sp. foi 67% maior do que em área revestida por *Eucalyptus* sp (Gama-Rodrigues et al., 1997). Observação semelhante foi descrita por Zinn (1998). Para o presente trabalho não se observaram discrepâncias tão marcantes entre o acúmulo de serrapilheira em pinus e eucalipto.

A pastagem de braquiária pura (T2) apresentou MST aproximada de 8 Mg ha⁻¹, valor cerca de 2 vezes menor do que aqueles encontrados nos demais tratamentos, onde há a presença do componente arbóreo, o que indica importantes diferenças quantitativas entre os subsistemas silvipastoris (coberturas) avaliados.

A biomassa do extrato graminoso observada em T4 (3,45 Mg ha⁻¹) representa menos da metade do que a observada em T2 (8,28 Mg ha⁻¹), o que indica menor disponibilidade de forragem em T4 (eucalipto + braquiária). Este fato suscitou uma série de dúvidas, uma vez que durante as coletas observou-se

maior altura da pastagem (40 cm) no consórcio (T4) do que na pastagem pura (T2), que foi de 30 cm em média, o que gerou a falsa impressão “a olho nu” de haver maior biomassa em T4, uma vez que a altura da pastagem normalmente está correlacionada positivamente com a sua biomassa. A princípio pensou-se que havia algum erro nas coletas, mas como as mesmas foram criteriosamente tomadas, consultou-se a literatura pertinente e verificou-se que estes resultados são factíveis. Alguns pesquisadores já observaram a redução da produção de forragem em SSP (Andrade et al., 2001; Dias et al., 2005; Oliveira et al., 2007; Paciullo et al., 2007; Sousa et al., 2007). De modo geral, a queda na produtividade é promovida pelo sombreamento excessivo e baixa disponibilidade de nutrientes no solo.

Porém, a observação citada anteriormente poderá suscitar novas investigações, uma vez que a maior altura da pastagem observada em T4, além de ser provavelmente causada pelo estiolamento das gramíneas, provocado pelo sombreamento, pode ser promovida pelo pastejo. Acredita-se que a queda de folhas do eucalipto sobre as gramíneas em T4 leve ao consumo seletivo, uma vez que os bovinos geralmente não abocanham porções de forragem que contenham folhas de eucalipto (observações de campo).

Observou-se que as gramíneas sombreadas por árvores de pinus (T3) apresentaram coloração mais esverdeada (veja FIGURA 4) do que em outros ambientes (T2 e T4), o que indica maior disponibilidade de nutrientes no solo revestido por *Pinus tecunumanii* (conforme será discutido no item 4.3). A reduzida quantidade de matéria seca do estrato graminoso detectada em T3 (1,17 Mg ha⁻¹) parece ser decorrente do excessivo sombreamento provocado pelas árvores de pinus.

4.2 Avaliação das propriedades físicas do solo

4.2.1 Argila dispersa em água e índice de floculação

Por meio da análise de variância (TABELA 4A) não se observaram diferenças significativas para o efeito promovido pelas coberturas e pela interação entre coberturas e profundidades para a argila dispersa em água (ADA). No entanto, observaram-se resultados estatisticamente distintos entre as profundidades, com maiores valores detectados na camada de 10-20 cm. Os resultados obtidos são apresentados na TABELA 4.

TABELA 4 Argila dispersa em água (ADA) em seis diferentes coberturas e duas profundidades

Coberturas	Profundidades (cm)		
	0-10	10-20	Média (0-20)
	.....ADA (g kg ⁻¹).....		
T1	200,0	200,0	200,0 a
T2	165,0	205,0	185,0 a
T3	210,0	232,5	221,2 a
T4	170,0	195,0	182,5 a
T5	165,0	197,5	181,2 a
T6	150,0	212,5	181,2 a
Média (P)	176,6 A	207,0 B	
CV1(%)	15,52		
CV2(%)	13,71		

Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Skott-Knott a 5% de significância.

Apesar de não detectadas diferenças significativas para a ADA promovidas pelas coberturas vegetais, notam-se valores numericamente maiores nos tratamentos onde há presença do *Pinus* sp (T1 e T3), considerando as médias obtidas na camada de 0-20 cm. Vale notar que as coberturas revestidas por pinus

apresentaram valores de argila total (TABELA 1) ligeiramente menores e, no entanto, apresentaram tendência a aumentar a ADA, o que não era de se esperar. Estes resultados sugerem que coberturas de *Pinus* sp promovem maior dispersão da argila, fato relacionado ao balanço de cargas (positivas e negativas) no solo revestido por esta espécie, o que é provavelmente afetado pela qualidade da matéria orgânica produzida por estas árvores.

Para o índice de floculação (IF) identificaram-se diferenças significativas (TABELA 4A) para o efeito promovido pelas coberturas, evidenciadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. Abaixo são apresentados os resultados obtidos para o índice de floculação (FIGURA 7).

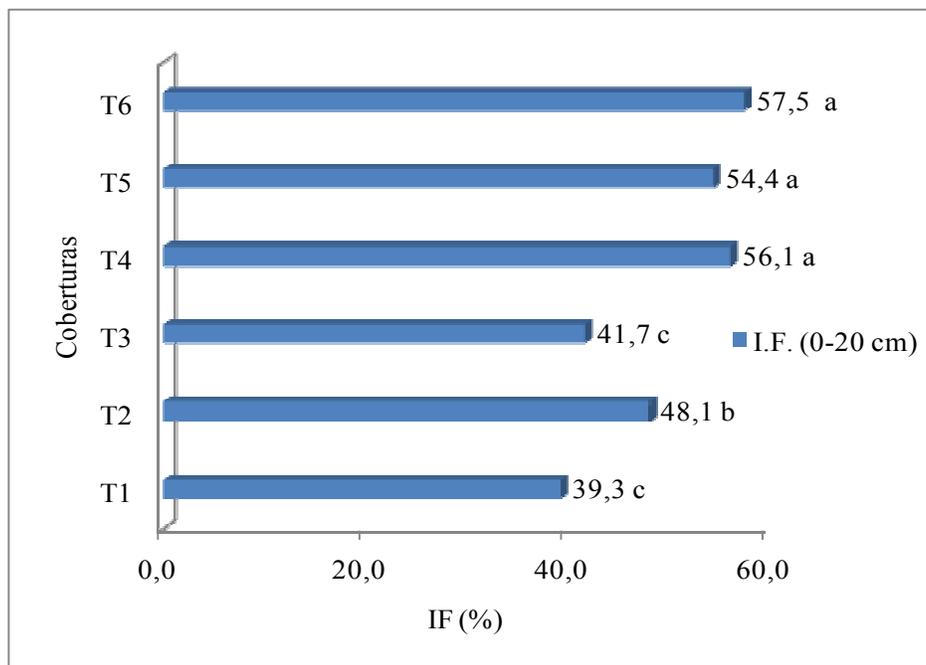


FIGURA 7 Índice de floculação em seis diferentes coberturas (profundidade de 0-20 cm) – médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de significância

As coberturas revestidas por *Pinus tecunumanii* (T1 e T3) apresentaram menores IF, o que é motivado pelas pequenas alterações observadas na ADA (TABELA 4), que apesar de não significativas a 5% entre as coberturas avaliadas, promoveram diferenças no IF. Numericamente T3 (pinus + braquiária) apresentou valor ligeiramente maior que T1 (pinus), o que provavelmente se deve à ação da *Brachiaria decumbens*, uma vez que T2 apresentou IF estatisticamente mais elevado do que T1 e T3. Acredita-se que este atributo não foi mais elevado em T3 em razão da reduzida participação da matéria seca graminosa (1,17 Mg ha⁻¹) neste ambiente em relação ao obtido em T2 (8,28 Mg ha⁻¹).

Coberturas caracterizadas pela presença do *Eucalyptus grandis* (T4 e T5) e a mata (T6) apresentaram os maiores índices. No entanto, deve-se observar que a cobertura mais semelhante numericamente à condição natural (T6) foi o consórcio de *Eucalyptus grandis* com *Brachiaria decumbens* (T4), o que denota a importância deste tipo de cultivo para práticas de conservação do solo.

As estimativas dos contrastes mutuamente ortogonais para IF, estão dispostas na TABELA 5. Através do teste F a 5% de significância constataram-se diferenças para os contrastes C1, C4 e C5.

TABELA 5 Contrastes mutuamente ortogonais para índice de flocculação (IF)

Variável	IF (0-20 cm)	Efeitos testados
Contrastes	Estimativas	
C1	-9,59*	pisoteio X ausência de pisoteio
C2	1,77 ^{n.s.}	braquiária X ausência de braquiária
C3	-0,79 ^{n.s.}	braquiária pura X braquiária consorciada
C4	-14,36*	pinus consorciado X eucalipto consorciado
C5	-15,18*	pinus X eucalipto

Estimativas significativas são indicadas pelo símbolo *, enquanto a sigla ^{n.s.} indica estimativas não significativas, ao nível de 5% pelo teste F.

Através do C1 ($Y_1 = -9,59$) observou-se que a atividade silvipastoril promoveu redução do IF em cerca de 10 pontos percentuais em relação à condição natural. Isto indica maior tendência à dispersão da argila, tornando as coberturas do SSP mais susceptíveis a processos de desestruturação do solo.

O contraste C5 ($Y_5 = -15,18$) indica que o cultivo de *Pinus tecunumanii* (T3) apresenta menor índice de flocculação do que o cultivo de *Eucalyptus grandis* (T5), o que ocasiona uma redução de cerca de 15 pontos percentuais ao se cultivar pinus. A simples adoção de consórcio com a *Brachiaria decumbens* reduz as diferenças diagnosticadas entre o efeito do *Pinus* e *Eucalyptus* sobre esta propriedade do solo, conforme se pode observar na estimativa do C4 ($Y_4 = -14,36$), denotando que a presença da gramínea poderá reduzir efeitos deletérios promovidos pela cobertura de *Pinus tecunumanii*. A ação da vegetação, expressa tanto pela qualidade da matéria orgânica quanto pela dinâmica de nutrientes promovida por esta, pode variar consideravelmente, levando-se a diferenças em propriedades físicas do solo, como discutido anteriormente.

4.2.2 Densidade do solo

Por meio da análise de variância (TABELA 4A) não se observou efeito de interação para coberturas *versus* profundidades, ao nível de 5%, para a densidade do solo (D_s). No entanto, para as fontes de variação cobertura vegetal e profundidade foram identificadas alterações significativas, conforme apresentado na TABELA 6.

Considerando os resultados médios de D_s obtidos nas diferentes coberturas, evidenciou-se que os valores identificados na camada de 0-10 cm são estatisticamente menores do que aqueles obtidos para a profundidade de 10-20 cm, pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Este quadro está

relacionado à maior atividade biológica, bem como aos teores mais elevados de matéria orgânica na camada de 0-10 cm.

TABELA 6 Densidade do solo (D_s) em seis diferentes coberturas e duas profundidades

Coberturas	Profundidade (cm)		
	0-10	10-20	Média (0-20)
	.....D_s (kg dm ⁻³).....		
T1	1,42	1,44	1,43 b
T2	1,30	1,37	1,33 a
T3	1,31	1,33	1,32 a
T4	1,30	1,34	1,32 a
T5	1,33	1,35	1,34 a
T6	1,22	1,33	1,28 a
Média (P)	1,31 A	1,36 B	
CV1(%)	4,31		
CV2(%)	3,72		

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem entre si pelo teste de Skott-Knott a 5% de significância.

Para o efeito promovido pelas distintas coberturas é notório observar que apenas o subsistema silvipastoril T1 (pinus), considerando valores médios na camada de 0-20 cm, apresentou valor estatisticamente mais elevado do que o observado nos demais. Este resultado, a princípio, colocaria as coberturas T2, T3, T4 e T5 em posição de similaridade quanto à qualidade física do solo apresentada pela vegetação natural (T6). Porém, apesar de não detectadas diferenças significativas pelo teste de Scott-Knot a 5% de probabilidade entre os tratamentos T2, T3, T4, T5 e T6, deve-se refletir um pouco mais sobre os resultados apresentados na TABELA 6, algumas observações de campo

relatadas posteriormente e discussões sobre os demais atributos físicos avaliados.

Numericamente deve-se observar que o menor valor médio de D_s (camada de 0-20 cm) foi encontrado na cobertura T6 (mata), seguidos por T3 (pinus+braquiária) e T4 (eucalipto+ braquiária), com valores numericamente idênticos entre si. A seguir apresentou-se T2 e, com valor ligeiramente mais elevado se enquadrou T5, apesar de serem considerados estatisticamente iguais. As constatações acima são condizentes às observações de campo, sendo que a ordem crescente de densidade do solo $T6 < T3 = T4 < T2 < T5 < T1$ constatada pelo método do cilindro, foi a mesma relacionada à dificuldade de coleta dos materiais, oferecida pela resistência à introdução das ferramentas utilizadas para a amostragem de solos - enxada e amostrador de Uhland. Além disto, as diferenças detectadas pelo teste de resistência à penetração do solo e de condutividade hidráulica, comentados posteriormente, também refletem a ordem crescente de D_s .

É importante salientar também que os resultados encontrados em T6 (mata) apresentaram nítida diferenciação entre as profundidades, sendo de $1,22 \text{ kg dm}^{-3}$, na camada de 0-10 cm, e de $1,33 \text{ kg dm}^{-3}$, na de 10-20 cm. Já para os subsistemas silvipastoris (T2, T3, T4, T5), à exceção de T1, essas diferenças são numericamente menores (variam de 0,02 a 0,07) entre as camadas avaliadas, o que indica compactação. Outra questão é que a D_s na camada de 10-20 cm das coberturas submetidas à constante pisoteio, à exceção de T1, são semelhantes àquela diagnosticada no subsistema sem pisoteio (T6), para a mesma profundidade. Isto indica que o efeito promovido pelos animais está restrito à camada de 0-10 cm de profundidade, à exceção de T1.

A cobertura revestida apenas por *Pinus tecunumanii* (T1) apresenta D_s mais elevada na camada de 10-20 cm, fato indicativo de que a compactação

promovida pelo pisoteio animal se observa até esta camada, apenas neste subsistema, fato que está provavelmente associado aos seguintes fatores:

- 1) a ausência de gramíneas neste subsistema seria um fator predisponente à compactação, uma vez que a presença destas plantas promoveria amortecimento do impacto promovido pelos animais, seja pela ação física imediata, seja pelo crescimento posterior de suas raízes, que promoveriam a reestruturação do solo;
- 2) a serrapilheira do *Pinus tecunumanii*, por apresentar grande quantidade de acículas e pequenas quantidades de galhos, conferiria baixa capacidade de suporte de carga a este subsistema, tornando-o mais suscetível a processos de compactação do solo;
- 3) como o ponto de coleta desta cobertura (T1) está situado no interior do povoamento florestal (mais sombrio) e pelo fato do *Pinus* sp. apresentar menor evapotranspiração na época chuvosa em relação a plantios de *Eucalyptus* sp (Lima et al., 1990), esta cobertura apresenta menores ciclos de umedecimento e secagem, o que a torna mais vulnerável a danos na estrutura do solo, em razão da presença de maior umidade ao longo do tempo, que associada ao pisoteio, leva a dano frequente e mais intenso.

Menores valores de D_s em povoamento de *Pinus* sp. (Araújo et al., 2007) não submetido a pisoteio animal também podem motivar a maior compactação detectada sob a cobertura T1, uma vez que ambientes mais porosos tendem a apresentar maiores reduções do espaço poroso quando submetidos à pressão. Aumento da densidade do solo em parcelas de *Pinus elliottii* submetidas a pastoreio, em relação a parcelas não pastoreadas, foi constatado por Baggio & Schreiner (1988) nos dois primeiros anos após a introdução dos animais, sendo que nos anos subsequentes não se observaram diferenças significativas, o que provavelmente está associado à reduzida carga animal utilizada no referido estudo.

A seguir são apresentadas as estimativas dos contrastes mutuamente ortogonais na TABELA 7, considerando os valores de D_s na camada de 0-20 cm.

TABELA 7 Contrastes mutuamente ortogonais para densidade do solo (D_s)

Variável	D_s (0-20 cm)	Efeitos testados
Contrastes	Estimativas	
C1	0,07*	pisoteio X ausência de pisoteio
C2	-0,06*	braquiária X ausência de braquiária
C3	0,01 ^{n.s.}	braquiária solteira X braquiária consorciada
C4	0,00 ^{n.s.}	pinus consorciado X eucalipto consorciado
C5	0,08*	pinus X eucalipto

Estimativas significativas são indicadas pelo símbolo *, enquanto a sigla ^{n.s.} indica estimativas não significativas, ao nível de 5% pelo teste F.

Por meio do contraste C1, onde se avalia o efeito do pisoteio, detectou-se que as áreas submetidas ao pisoteio (T1, T2, T3, T4 e T5) apresentam em média 0,07 unidades a mais na D_s do que em área não submetida a pisoteio (T6), comprovando-se que as coberturas sob pressão mecânica exercida por animais apresentam algum grau de compactação. Portugal (2005) identificou aumento acentuado da D_s na camada de 0-10 cm em área de pastagem degradada (*Melinis minutiflora* - capim-gordura) em relação a ambientes não pastoreados (mata, seringal e laranjal). Destaca-se que no presente estudo o nível de degradação do solo sob manejo silvipastoril é reduzido e, portanto, as diferenças na D_s são pouco pronunciadas em relação ao relatado por Portugal (2005).

Vale observar que os resultados destacados no parágrafo anterior provavelmente estão associados ao método de coleta de solo, onde se realizou a amostragem abaixo das touceiras das gramíneas e da serrapilheira, evitando-se locais desnudos. Este procedimento foi adotado porque amostragens realizadas em solo descoberto certamente não refletirão o efeito de determinada cobertura

vegetal sobre os atributos físicos do solo e sim o efeito da exposição do solo às intempéries.

A estimativa do contraste C2 indica um aumento de 0,06 unidades na D_s nas coberturas onde a *Brachiaria decumbens* está ausente (cultivos florestais não consorciados T1 e T5), comparado aos valores observados onde há presença da gramínea (T2, T3 e T4). Este resultado corrobora com as observações de campo onde se observou nítido depauperamento das condições físicas do solo em T1 (pinus) e T5 (eucalipto), evidenciado pela erosão laminar nestes subsistemas. Apesar destas coberturas (T1 e T5) apresentarem elevada quantidade de serrapilheira, esses resíduos não são suficientes para minorar o impacto promovido pelo pisoteio animal, ao contrário do observado em subsistemas que apresentam gramíneas (T2, T3 e T4). Portanto, constata-se que a simples presença de gramíneas confere ao solo maior resiliência estrutural.

O contraste C3, onde se testa o efeito da pastagem pura *versus* consorciada, não apresentou diferença significativa. Isto indica que os consórcios de braquiária com as espécies florestais pinus ou eucalipto (T3 e T4) apresentam valores de D_s estatisticamente idênticos aos observados na pastagem pura (T2), considerando as médias obtidas na camada de 0-20 cm. Este fato demonstra que a presença da gramínea mesmo em baixa quantidade, como em T3, confere valores bastante semelhantes de D_s às coberturas contrastadas, indicando que o solo sob estas apresentam estrutura semelhante ou o mesmo estado de alteração.

Por meio do contraste C4 também não se observou diferenças significativas entre T3 (pinus + braquiária) e T4 (eucalipto + braquiária), confirmando-se a afirmação descrita no parágrafo anterior. Portanto, ao se consorciar árvores e forrageiras em uma mesma área, não se observaram efeitos de compactação superiores aos encontrados em pastagem pura.

Ao se analisar o contraste C5 ampliam-se ainda mais as chances de se aceitar a hipótese deste estudo, em que se supõem respostas diferenciadas do solo ao pisoteio animal, frente à composição das coberturas vegetais- quantidade e qualidade. A estimativa do C5 revela que a serrapilheira do pinus, juntamente com outras características deste ambiente, confere ao solo menor capacidade de suporte de carga em relação à serrapilheira do eucalipto (T5). Ou seja, o solo sob cobertura exclusiva de *Pinus tecunumanii* apresenta aumento de 0,08 unidades de D_s , em relação à cobertura de *Eucalyptus grandis*. O subsistema T1 (pinus) apresentou quantidade de resíduos estimada em 19,09 Mg ha⁻¹ de matéria seca, enquanto o T5 (eucalipto) possuía 14,80 Mg ha⁻¹, consideradas estatisticamente iguais, o que demonstra proteção diferenciada ao solo promovida pelo tipo (qualidade) do resíduo.

Demonstra-se, portanto, que a elevada quantidade de resíduos presentes em ambientes silvipastoris não é suficiente para proteger o solo da compactação provocada pelo pisoteio continuado de animais bovinos, quando as gramíneas estão ausentes.

4.2.3 Porosidade (total e distribuição por tamanho)

Para os atributos da porosidade do solo não se verificaram efeitos de interação promovidos pelas coberturas *versus* profundidades, bem como pela profundidade de amostragem, pelo teste F a 5% de significância (TABELA 4A). No entanto, foram constatadas diferenças no volume total de poros (VTP) e microporosidade (Mi) devido ao efeito promovido pelas distintas coberturas vegetais, considerando valores médios obtidos na camada de 0-20 cm. Para a macroporosidade (Ma), não houveram modificações significativas promovidas pelas distintas coberturas, sendo os valores considerados estatisticamente iguais. Os valores obtidos para VTP, Ma e Mi estão dispostos na FIGURA 8.

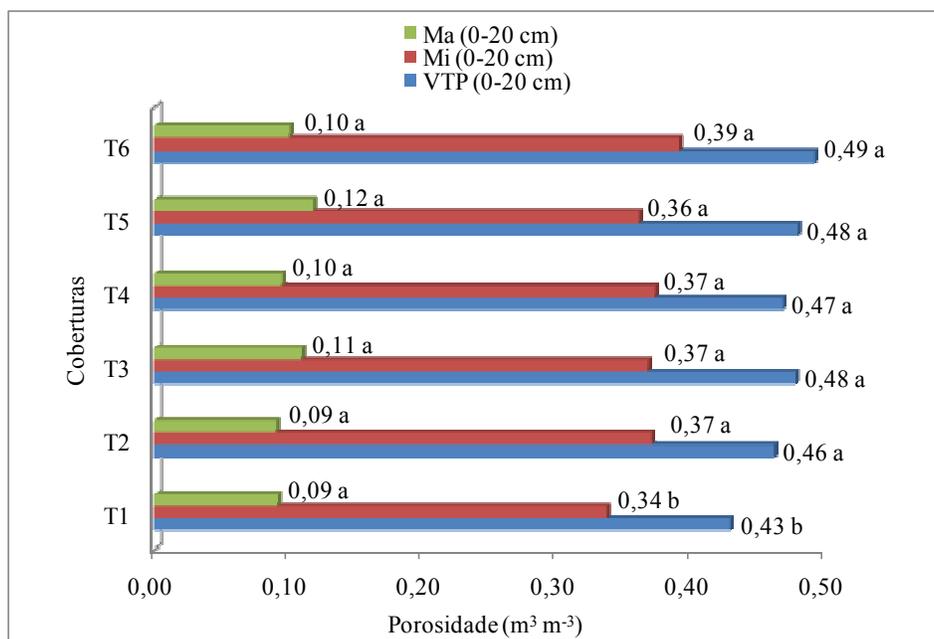


FIGURA 8 Volume total de poros (VTP), macro (Ma) e microporosidade (Mi) na camada de 0-20 cm para 6 coberturas (médias seguidas por letras distintas, para o mesmo atributo, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de significância).

Em relação aos resultados obtidos para VTP e microporosidade, observa-se que as coberturas T2, T3, T4, T5 e T6 são consideradas estatisticamente iguais, pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. Apenas T1 (pinus) diferiu das demais e apresentou os menores valores. As reduções observadas no VTP e Mi se verificaram justamente na cobertura (T1) onde também se constatou aumento da densidade do solo (item anterior). A elevada quantidade de resíduos, 19,09 Mg ha⁻¹, que cobrem o solo no subsistema T1 (pinus) não foi suficiente para reduzir o impacto promovido pelo pisoteio animal. No entanto, em T3 (pinus + braquiária) que apresenta quantidade semelhante de material vegetal cobrindo o solo (19,59 Mg ha⁻³), a presença de pequena quantidade de material graminoso,

1,17 Mg ha⁻¹, foi suficiente para evitar maiores danos estruturais, pelo menos no que tange aos valores de VTP, macro e microporosidade. Em área de integração lavoura-pecuária (solo com Bt), não se observou efeitos adversos sobre a D_s e VTP promovidos pelo pisoteio animal, ao se exercer o controle do pastejo através da manutenção de resíduo vegetal gramíneo de 1 Mg ha⁻¹ (Silva et al., 2000), o que corrobora com as discussões descritas sobre os resultados observados em T3 (pinus + braquiária).

Nos subsistemas constituídos por eucalipto (T4 e T5) não se observou depleção dos valores de VTP, indicando que os resíduos vegetais produzidos por estas coberturas oferecem maior proteção ao solo, do que os resíduos de pinus (T1), apesar da maior quantidade de serrapilheira neste último. Portanto, a proteção conferida pela serrapilheira de eucalipto (em T5), apesar da menor quantidade, 14,80 Mg ha⁻¹, é mais efetiva em prevenir danos a estrutura do solo do que a serrapilheira de pinus (em T1). Este fato provavelmente está associado à presença de materiais mais grosseiros (galhos e cascas) identificados em T5. No entanto, salienta-se que foi observada maior intensidade de erosão laminar em T5 (como em T1), denotando algum grau de depauperamento, que poderá estar relacionado não apenas à redução do espaço poroso, mas principalmente a alterações na continuidade dos poros (FIGURAS 9 e 10).

O aumento na densidade do solo (D_s) promovido pelo manejo do mesmo pode acarretar redução da macroporosidade e aumento da microporosidade (Silva et al, 2000) ou apenas redução da macroporosidade (Portugal, 2005). No presente estudo não se verificaram essas relações em T1 (pinus), sendo possível que o efeito promovido pelos animais tenha levado a destruição dos poros de menor tamanho, enquanto a macroporosidade é pouco alterada em razão da proteção conferida pela serrapilheira e pela atividade biológica de formigas e cupins sabidamente mais intensa em ambientes agroflorestais. Outra possibilidade é que o solo sob a cobertura T1 (pinus) esteja submetido não



FIGURA 9 Erosão laminar na cobertura de *Eucalyptus grandis* (T5)



FIGURA 10 Erosão laminar na cobertura de *Pinus tecunumanii* (T1)

apenas ao processo de compactação (redução do espaço poroso promovido pela pressão aplicada), mas ao adensamento (redução do espaço poroso promovido por processos pedogenéticos). Aventa-se esta hipótese uma vez que foram

identificados valores de ADA ligeiramente mais elevados e índices de flocação (IF) estatisticamente menores nas áreas revestidas por Pinus (T1 e T3). Estes atributos indicam maior movimentação da argila no perfil, o que pode promover a obstrução dos microporos e conseqüente redução da microporosidade (como em T1). A diferença entre T1 e T3 provavelmente se deve à presença de braquiária em T3, que em razão da ação de suas raízes mantém a microporosidade inalterada.

A macroporosidade é considerada um indicador sensível para se detectar alterações provocadas pelo uso do solo. Apesar da análise estatística não detectar alterações significativas da Ma na camada de 0-20 cm, o que pode ser motivado pela alta variabilidade dos dados, as diferenças numéricas apresentadas na TABELA 8 para cada profundidade avaliada parecem ter alguma relevância e são comentadas a seguir.

TABELA 8 Macroporosidade em 6 coberturas vegetais e duas profundidades

Coberturas	Profundidades (cm)	
	0-10	10-20
	Macroporosidade (m ³ m ⁻³)	
T1	0,07	0,11
T2	0,09	0,09
T3	0,10	0,12
T4	0,09	0,09
T5	0,11	0,12
T6	0,11	0,09
CV1(%)	36,18	
CV2(%)	20,32	

Enquanto em T6 (mata nativa) a macroporosidade (Ma) apresentou-se mais elevada na camada de 0-10 cm, nos ambientes onde há pisoteio

(subsistemas silvipastoris) a relação foi inversa, sendo os maiores valores encontrados na camada de 10-20 cm. Em algumas coberturas encontram-se maiores valores de Ma na camada de 10-20 cm, tais como nos subsistemas T5, T3 e T1, do que aqueles diagnosticados na camada de 0-10 cm na mata (T6); fato controvertido a princípio, mas sobre o qual algumas evidências científicas dão razoável explicação. A atividade biológica em áreas pastoreadas comumente se concentra em camadas de solo mais profundas, enquanto que em áreas florestais sem intervenção, grande parte da atividade se concentra na serrapilheira e nos primeiros centímetros do solo (Costa et al., 2004), o que certamente promove a diferenciação para Ma entre a condição natural e a atividade silvipastoril.

Para a camada de 0-10 cm foram observados valores numericamente menores de Ma em T1 (pinus), o que denota maiores danos estruturais, conforme diagnosticado quando se tratou da D_s , no item anterior. Já para a camada de 10-20 cm neste ambiente, não foi observada redução deste atributo. Valores mais elevados de Ma em povoamento de *Eucalyptus grandis* do que em *Pinus tecunumanii* não pastoreados, foram observados na camada de 0-10 cm (Silva et al., 2009).

As coberturas T2 (braquiária) e T4 (eucalipto+ braquiária) apresentaram notável similaridade para a Ma. Tal ocorrência pode ser associada à presença mais abundante de gramíneas nestes subsistemas. Como se considera para o cálculo da macroporosidade, o espaço ocupado por poros com diâmetro maior que 0,05 mm (Danielson & Sutherland, 1986), é de se esperar que as raízes gramíneas, aquelas com diâmetro maior do que 0,05 mm, e que certamente são muitas) ocupem alguns espaços que deveriam ser ocupados pelos macroporos, promovendo a redução dos valores observados e a semelhança entre T2 e T4.

Dentre os ambientes silvipastoris, os maiores valores de Ma foram encontrados nos ambientes T3 (pinus+braquiária) e T5 (eucalipto), dentre os

ambientes silvipastoris. A campo pôde-se observar realmente que o sistema T3 apresentava melhores condições físicas, devido a ausência de erosão laminar. Porém, as mesmas observações davam conta que T5 (eucalipto), à semelhança de T1 (pinus), apresentava maior estado de compactação, denotado pela resistência oferecida ao instrumental de coleta, bem como pela presença de erosão laminar nestes ambientes (FIGURAS 9 e 10). Acredita-se que a única explicação plausível para o maior valor de macroporosidade em T5 está ligada a dois fatores. Primeiramente, a ausência de gramíneas nesta cobertura promoveria maior macroporosidade, em alusão ao comentado anteriormente para os subsistemas T2 e T4, onde a presença das gramíneas provavelmente promovia a obstrução dos poros de maior tamanho. Junto a isto, deve-se considerar que o *Eucalyptus* sp promove maior evapotranspiração que o *Pinus* sp (Lima et al., 1990), o que conduz a ciclos de umedecimento e secagem mais freqüentes e intensos, e como consequência promoveria maiores valores de macroporosidade.

As estimativas dos contrastes mutuamente ortogonais para VTP, considerando valores médios da camada de 0-20 cm, estão dispostas na TABELA 9. Apenas os contrastes C1 e C3 apresentaram diferenças significativas pelo teste F a 5%, restringindo-se a discussão aos mesmos.

A estimativa do contraste C1 indica uma redução de quase 3 unidades no VTP em coberturas submetidas a pisoteio. Portugal (2005) identificou valores aproximados de VTP na camada de 0-10 cm em Argissolo de $0,60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para mata nativa e de $0,40 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para pastagem degradada. Os valores de VTP identificados neste estudo não apresentaram tal distinção entre ambientes sob pisoteio versus ambiente não pisoteado, fato que está provavelmente associado ao método de coleta das amostras (conforme já comentado na página 51) ou simplesmente ao menor impacto ao solo promovido pelos subsistemas silvipastoris.

TABELA 9 Contrastes mutuamente ortogonais para variável VTP

Variável	VTP (0-20 cm)	Efeitos testados
Contrastes	Estimativas	
C1	-0,03*	pisoteio X ausência de pisoteio
C2	0,01 ^{n.s.}	braquiária X ausência de braquiária
C3	-0,01 ^{n.s.}	braquiária pura X braquiária consorciada
C4	0,01 ^{n.s.}	pinus consorciado X eucalipto consorciado
C5	-0,05*	pinus X eucalipto

Estimativas significativas são indicadas pelo símbolo *, enquanto a sigla ^{n.s.} indica estimativas não significativas, ao nível de 5% de significância pelo teste F.

Para as coberturas arbóreas não consorciadas verificou-se que o revestimento propiciado pelo eucalipto apresentou cerca de 0,05 unidades de VTP a mais do que a cobertura de pinus, conforme demonstrado pela estimativa do contraste C5, o que corrobora com a afirmação de que a serrapilheira do eucalipto promove maior proteção ao solo em relação à serrapilheira do pinus, conforme discorrido (página 55).

As estimativas dos contrastes mutuamente ortogonais para a microporosidade são mostradas na TABELA 10.

TABELA 10 Contrastes mutuamente ortogonais para a variável microporosidade

Variável	Micro (0-20 cm)	Efeitos testados
Contrastes	Estimativas	
C1	-0,03*	pisoteio X ausência de pisoteio
C2	0,02*	braquiária X ausência de braquiária
C3	0,00 ^{n.s.}	braquiária pura X braquiária consorciada
C4	-0,00 ^{n.s.}	pinus consorciado X eucalipto consorciado
C5	-0,02 ^{n.s.}	pinus X eucalipto

Estimativas significativas são indicadas pelo símbolo *, enquanto a sigla ^{n.s.} indica estimativas não significativas, ao nível de 5% pelo teste F.

Em relação à microporosidade (M_i), o contraste C1 revela valores de M_i mais elevados em 0,03 unidades na cobertura isenta de pisoteio, sendo a diferença detectada praticamente igual à verificada para VTP, indicando que a compactação promovida pelos animais promoveu a redução dos microporos. A presença da braquiária contrastada com sua ausência (contraste C2), promoveu elevação da microporosidade em cerca de 0,02 unidades. Os demais contrastes (C3, C4 e C5) não apresentaram diferenças significativas.

4.2.4 Condutividade hidráulica do solo saturado (K_s)

Para a condutividade hidráulica do solo saturado não se observaram diferenças significativas para as fontes de variação deste estudo pela análise de variância (TABELA 4A), fato motivado pela alta variabilidade dos dados, o que é característico deste atributo. Os resultados obtidos são apresentados na FIGURA 11 (página seguinte).

A K_s está relacionada não apenas aos valores de macroporosidade, mas principalmente à continuidade dos poros. Apesar da alta variabilidade normalmente encontrada para este atributo, o mesmo é bastante sensível em detectar o impacto de determinada prática sobre o fluxo hidrológico no solo. Assim, apesar de não serem encontradas diferenças estatísticas entre as coberturas, quanto ao K_s , observam-se valores numericamente bem distintos, indicando clara tendência de redução da infiltração de água no solo nos subsistemas silvipastoris.

A mata (T6) apresentou os valores mais elevados na camada de 0-10 cm, seguidos por T2, T3, T4, T1, T5. Na camada de 10 a 20 cm a ordem decrescente é a seguinte: T6>T3>T5>T2>T1>T4.

Observou-se uma redução da condutividade hidráulica saturada em relação à mata nativa, na camada de 0-10 cm, de cerca de 2 vezes para os subsistemas T2 e T3, 4 vezes para T4 e T1 e de 8 vezes para o subsistema T5.

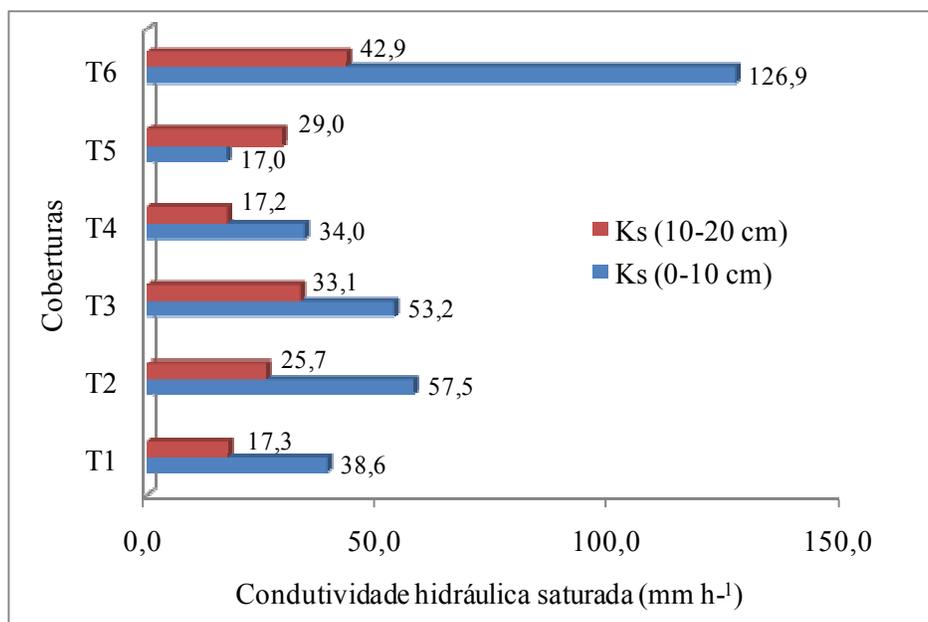


FIGURA 11 Condutividade hidráulica do solo saturado (K_s em mm h^{-1}) para as camadas de 0-10 e 10-20 cm

Uma observação interessante é que a cobertura T4, para as duas camadas foi, dentre os subsistemas silvipastoris, aquela que apresentou maiores indícios de pedoturbação, por apresentar mistura de cores e maior presença de coprólitos, o que se detectou ao se desfazer as amostras indeformadas (após a realização das análises) e compará-las visualmente. Porém, esta constatação que deveria promover maior K_s , teve efeito contrário, o que pode ser causado pela obstrução dos poros de maior tamanho ou de sua continuidade pela ação da fauna do solo (particularmente minhocas) enquanto se realizavam os procedimentos laboratoriais. Constatou-se *in situ* que o revestimento propiciada pelo T4 (eucalipto+ braquiária) foi, dentre os diversos subsistemas silvipastoris, aquele que apresentou menores sinais de erosão laminar. Portanto, os reduzidos valores de K_s observados em T4 (eucalipto + braquiária), nas duas camadas avaliadas,

não podem ser considerados bons indicadores da qualidade estrutural neste subsistema, uma vez que a maior pedoturbação e ausência de erosão laminar indicam maior fluxo hidrológico. Estudos de micromorfologia ou mesmo de morfologia do solo, avaliações da diversidade de macrofauna, bem como testes de infiltração realizados no campo, poderiam comprovar acuradamente tal hipótese.

Como há redução da condutividade hidráulica em ambientes pastoris, é fundamental que se adotem práticas conservacionistas para se reduzir efeitos adversos ocasionados pela erosão, tais como curvas de nível, lagoas de contenção e manejo mais adequado da pastagem.

4.2.5 Estabilidade de agregados

Por meio da análise de variância (TABELA 4A), ao nível de 5% de significância, detectaram-se diferenças significativas para o efeito de coberturas *versus* profundidades para a estabilidade de agregados. Os resultados obtidos na determinação do diâmetro médio de agregados (DMG) são apresentados na TABELA 11. Pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, evidenciou-se que as diferenças observadas para a camada de 10-20 cm são muito reduzidas, sendo o efeito dos tratamentos considerados estatisticamente iguais. Porém, para a camada de 0-10 cm, as variações observadas atingiram o nível de significância e demonstram mais claramente o efeito da cobertura vegetal sobre a estabilidade de agregados. Diâmetro médio geométrico e outros atributos de agregação foram considerados por D'Andréa et al. (2002) como bons indicadores para se avaliar alterações provocadas pelo manejo do solo.

Observa-se para a camada de 0-10 cm que os menores valores de DMG foram observados em T1 (pinus), indicando que esta cobertura promoveu menor estabilidade de agregados, provocada possivelmente tanto pela ação animal quanto pela própria ação da vegetação. Zinn (1998) detectou menor percentual

de agregados > 2mm e menor DMP (diâmetro médio ponderado) nas camadas de 0-5 e 5-10 cm em solo revestido por *Pinus caribaea* (20 anos), quando comparado a povoamento de *Eucalyptus camaldulensis* (9 anos) e condição natural (cerrado). Este fato corrobora com a idéia de que o *Pinus* sp. promove menor estabilidade de agregados e está mais sujeito a degradação da estrutura do solo. Como a erodibilidade do solo decresce com o incremento da estabilidade de agregados (Kemper & Rosenau, 1986), os menores valores de DMG observados em T1 tornam o solo revestido por *Pinus tecunumanii* mais suscetível à erosão, conforme exemplificado pela FIGURA 10.

TABELA 11 Diâmetro médio dos agregados para seis diferentes coberturas e duas profundidades

Coberturas	Profundidade (cm)	
	0-10	10-20
	.....DMG(mm).....	
T1	3,10 a	4,31 a
T2	4,85 c	4,53 a
T3	4,13 b	3,82 a
T4	4,81 c	4,10 a
T5	4,69 c	4,48 a
T6	4,74 c	4,74 a
CV1(%)	14,62	
CV2(%)	8,89	

Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Skott-Knott a 5% de significância.

Para o T3 (pinus + braquiária) há melhoria substancial para o DMG (0-10 cm) em relação ao observado em T1, o que indica benefícios da presença da

Brachiaria decumbens no estado de agregação do solo, apesar dos valores encontrados estarem abaixo das demais coberturas, indicando mais uma vez que o pinus exerce algum efeito deletério na estrutura do solo.

Valores estatisticamente maiores (0-10 cm) foram encontrados nas coberturas T2, T4, T5 e T6. A similaridade observada indica que plantas como *Brachiaria decumbens* e *Eucalyptus grandis* promovem bom estado de agregação do solo em relação à condição natural. Nota-se, entretanto, que as coberturas caracterizadas pela maior presença da *Brachiaria decumbens* (T2 e T4) apresentaram valores numericamente mais elevados dentre todas as coberturas avaliadas, inclusive em relação à condição natural. Observou-se que os agregados das coberturas T2 e T4 apresentaram raízes no seu interior, o que certamente lhes confere maior resistência e resulta em maiores valores de DMG.

A seguir são apresentadas as estimativas para os contrastes mutuamente ortogonais para a variável resposta DMG na TABELA 12.

TABELA 12 Contrastes mutuamente ortogonais para a variável DMG nas profundidades $_1(0-10\text{ cm})$ e $_2(10-20\text{ cm})$

Variável	DMG ₁	DMG ₂	Efeitos testados
Contrastes	Estimativas		
C1	-0,42 ^{n.s.}	-0,49*	pisoteio X ausência de pisoteio
C2	0,70*	-0,24 ^{n.s.}	braquiária X ausência de braquiária
C3	0,37 ^{n.s.}	0,57*	braquiária pura X braquiária consorc.
C4	-0,68*	-0,28 ^{n.s.}	pinus consorc. X eucalipto consorc.
C5	-1,59*	-0,17 ^{n.s.}	pinus X eucalipto

Estimativas significativas são indicadas pelo símbolo *, enquanto a sigla ^{n.s.} indica estimativas não significativas, ao nível de 5% pelo teste F.

O pisoteio (contraste C1) não promoveu alterações significativas no DMG para a camada de 0-10 cm. Já para a profundidade de 10-20 cm a estimativa foi significativa sem, contudo, apresentar grande diferença da camada de 0-10 cm.

A presença de gramínea (contraste C2) dentro dos subsistemas silvipastoris promoveu maior estabilidade de agregados na camada de 0-10 cm. Para a camada de 10-20 cm não houve diferença significativa.

Para o contraste C3, onde se avalia o efeito promovido pelo consórcio de gramíneas com espécies florestais comparado a revestimento exclusivo de gramíneas, não se observou diferença significativa na camada de 0-10 cm. Já para a profundidade de 10-20 cm, a *Brachiaria decumbens* em monocultivo promoveu elevação significativa do índice, provavelmente pela maior concentração de raízes nesta camada (em T2).

Os contrastes C4 e C5 indicam que o cultivo do *Pinus tecunumanii* promove menor estabilidade de agregados do que o *Eucalyptus grandis*, na camada de 0-10 cm. A magnitude deste efeito é menor quando há gramíneas, conforme se observa ao comparar-se a estimativa do contraste C4 ($Y_4 = -0,68$) com a do contraste C5 ($Y_5 = -1,59$). Para a camada de 10-20 cm, entretanto, não há diferenças significativas para estes dois contrastes, o que revela que as alterações promovidas pelas espécies florestais está normalmente restrita à camada de 0-10 cm.

4.2.6 Resistência do solo à penetração

A resistência do solo à penetração para as seis diferentes coberturas, mensurado até a profundidade de 60 cm, é demonstrada na FIGURA 12. Os perfis para as diferentes coberturas são bastante semelhantes e indicam claramente elevação da resistência com o aumento da profundidade. Este comportamento ocorre em razão da classe de solo avaliada (Argissolo

Vermelho-Amarelo), que ao apresentar gradiente textural (Bt) apresenta maior resistência nos horizontes subsuperficiais.

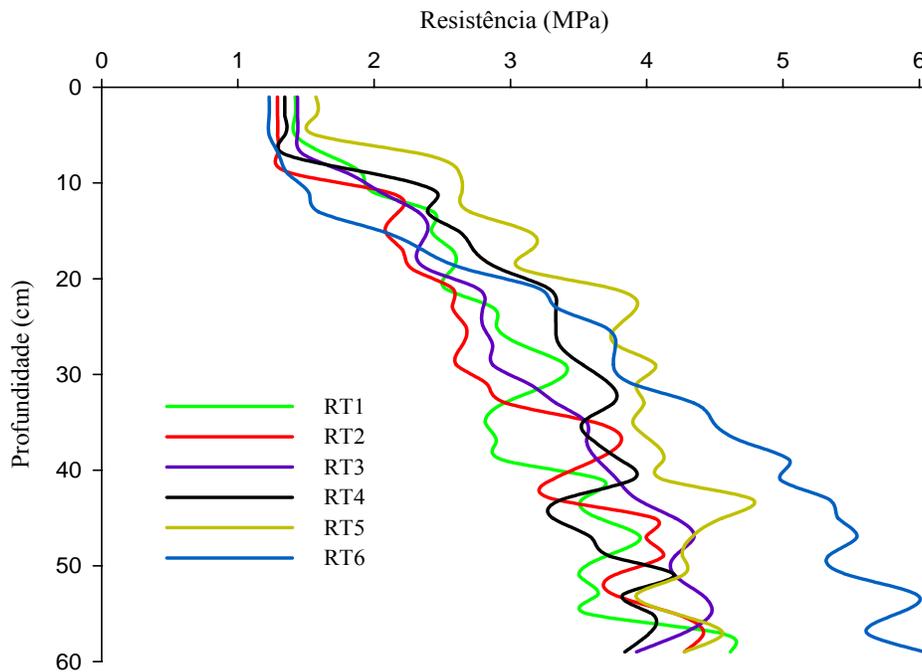


FIGURA 12 Perfis de resistência do solo à penetração para seis coberturas vegetais até a profundidade de 60 cm.

Para a camada de 0-10 cm percebe-se que o ambiente de mata (T6) apresentou valores bastante semelhantes aos detectados em T2 (braquiária) e T4 (braquiária+eucalipto), o que indica maior qualidade estrutural para estes dois últimos em relação às demais coberturas avaliadas.

Resistência do solo à penetração mais elevada na camada de 0-10 cm, foi verificada na cobertura T5 (eucalipto), que apesar de não apresentar aumento significativo da densidade do solo (item 4.2.2) em relação à mata (T6), apresentava erosão laminar mais pronunciada (FIGURA 9). Portanto, para que

haja um diagnóstico mais adequado sobre a compactação do solo promovida por determinado uso do solo, são imprescindíveis tanto os testes (como o teste de resistência), bem como as observações realizadas *in situ*.

4.3 Avaliação dos atributos de fertilidade

4.3.1 Atributos indicadores da acidez do solo

4.3.1.1 Acidez ativa (pH em água)

Para o pH em água não houve efeito significativo para a fonte de variação coberturas *versus* profundidades de acordo com a análise de variância (TABELA 5A), ao nível de 5% de probabilidade. No entanto, houve diferenças significativas promovidas pelas diferentes coberturas e profundidades avaliadas, conforme apresentado na TABELA 13. De modo geral, os valores encontrados são classificados como acidez média, de acordo com os padrões da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais - CFSEMG (1999).

TABELA 13 Acidez ativa (pH) em seis diferentes coberturas e duas profundidades

Coberturas	Profundidade (cm)		
	0-10	10-20	Média (0-20)
	.....pH.....		
T1	5,70	5,62	5,66 a
T2	5,45	5,30	5,37 b
T3	5,25	5,30	5,27 b
T4	5,30	5,17	5,23 b
T5	5,00	4,92	4,96 c
T6	5,70	5,52	5,61 a
Média	5,40 A	5,30 A	
CV1(%)	2,77		
CV2(%)	1,49		

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem entre si pelo teste de Skott-Knott a 5% de significância.

Pressupondo-se que o material de origem dos solos avaliados seja o mesmo, o que é indicado pelos dados de densidade de partículas (TABELA 1), bem como inexistam variações climáticas relevantes entre os pontos de amostrais, acredita-se que as diferenças detectadas para o pH do solo sejam resultado da ação dos organismos no solo. Nota-se que o subsistema T5 (eucalipto) apresentou o menor valor, enquanto T2 (braquiária), T3 (pinus+braquiária) e T4 (eucalipto+braquiária) apresentaram valores intermediários. Valores mais elevados foram observados em T1 (Pinus) e T6 (mata). Estes resultados demonstram claramente o efeito da cobertura vegetal, e conforme será discutido mais adiante, o efeito combinado da cobertura vegetal associado ao sistema de pastoreio contínuo, sobre os atributos de fertilidade do solo.

O menor valor de pH encontrado em T5 (eucalipto) está associado provavelmente à imobilização de nutrientes básicos (Ca, Mg e K) no tronco das árvores, uma vez que nesta cobertura observaram-se árvores de porte mais elevado e portanto, de maior volume de madeira por área (não mensurado mas visível a campo). A redução do pH em solo revestido por eucalipto ocorre tanto em povoamentos mais longevos (Gama-Rodrigues, 1997; Zinn, 1998) quanto naqueles mais jovens (Gama-Rodrigues et al., 2008). Há também relatos sobre alterações não significativas do pH do solo em plantios de eucalipto (Melo et al., 2004), mas que não estão necessariamente ligados à ação desta espécie, mas sobretudo à utilização de calagem na implantação dos referidos povoamentos.

Em relação a T2 (braquiária), T3 (pinus+braquiária) e T4 (eucalipto+braquiária), que apresentaram valores intermediários, há uma menor imobilização de nutrientes na biomassa vegetal, o que promove um ligeiro aumento de pH. A similaridade entre estes subsistemas é até certo ponto intrigante, uma vez que em T3 e T4 há presença de árvores, o que a princípio levaria à maior remoção de bases com conseqüente redução do pH. Porém, é

possível que ao longo do tempo houve maior remoção de nutrientes do subsistema T2 pelo consumo de forragem (uma vez que se constatou maior quantidade de material graminoso nesta cobertura, conforme apresentado na FIGURA 6), promovendo a semelhança entre T2, T3 e T4.

As coberturas T1 (pinus) e T6 (mata) apresentaram valores mais elevados, sugerindo que o solo sob pinus mantém o pH do solo próximo ao observado em estado natural, o que pode ser motivado pelo seu crescimento mais lento e pela inexistência de forragem neste ambiente, não havendo assim, remoção dos nutrientes por pastejo. A literatura consultada apresenta relatos sobre mudanças não significativas do pH promovida por plantios de *Pinus* sp. (Lopes, 1983), porém, reduções expressivas são mais comumente descritas (Zinn, 1998; Prado & Natale, 2003; Mafra et al., 2008). Outros fatores que levaram a não se observar redução do pH no subsistema (T1) em relação à vegetação natural estão provavelmente associados ao menor tempo de condução (15 anos), à classe de solo envolvida na presente avaliação (Argissolo de média fertilidade), à ocorrência freqüente de incêndios e deposição de excrementos preferencialmente em áreas mais sombreadas, fato este comumente observado sob copa de árvores. Enquanto no presente experimento avaliaram-se as coberturas sob Argissolo Vermelho-Amarelo, o estudo de Prado & Natale (2003) foi conduzido sob Latossolo Vermelho com caráter ácido, caracterizado pelas baixíssimas disponibilidade de nutrientes e reserva mineral, sendo que qualquer cultura comercial implantada nestas condições sem fertilização levaria a redução do pH. Os povoamentos avaliados por Zinn (1998) possuíam idades e práticas de condução diferenciadas, sendo o plantio de *E. camaldulensis* mais jovem (9 anos) e conduzido com fertilização (fosfatagem), enquanto o povoamento de *Pinus caribaea* apresentava idade de 20 anos e ausência de fertilização.

Os resultados para os contrastes mutuamente ortogonais são apresentados na TABELA 14. As estimativas para os contrastes C2, C3 e C4 não apresentaram diferença significativa pelo teste F a 5% de significância.

TABELA 14 Contrastes mutuamente ortogonais para variável acidez ativa (pH em água) para a profundidade de 0-20 cm

Variável	pH (0-20 cm)	Efeitos testados
Contrastes	Estimativas	
C1	-0,31*	pisoteio X ausência de pisoteio
C2	-0,01 ^{n.s.}	braquiária X ausência de braquiária
C3	0,11 ^{n.s.}	braquiária pura X braquiária consorciada
C4	0,03 ^{n.s.}	pinus consorciado X eucalipto consorciado
C5	0,70*	pinus X eucalipto

Estimativas significativas são indicadas pelo símbolo *, enquanto a sigla ^{n.s.} indica estimativas não significativas, ao nível de 5% pelo teste F.

O contraste C1 indica que a ação antrópica, expressa pelas diferentes coberturas presentes no sistema silvipastoril, levou à redução de 0,31 unidades de pH em relação ao ambiente natural.

Ao confrontar as mudanças promovidas pelas espécies arbóreas *Pinus tecunumanii* e *Eucalyptus grandis* sob manejo silvipastoril, percebe-se que a folhosa levou à redução de 0,7 unidades de pH em relação ao cultivo da conífera, conforme demonstrado pela estimativa do contraste C5. Ao se consorciar espécies arbóreas com gramíneas (contraste C4) não se observou diferença significativa para o pH do solo, o que indica redução do impacto sobre este atributo promovido pelo eucalipto, conforme se discutiu anteriormente para o contraste C5. Estas mudanças provavelmente estão associadas à menor

biomassa arbórea apresentada pelas coberturas consorciadas e redução da erosão propiciada pela presença das gramíneas.

4.3.1.2 Alumínio trocável (Al^{3+})

Para a variável alumínio trocável, principal componente da acidez trocável, a análise de variância (TABELA 5A) revelou que há diferenças significativas entre as coberturas, considerando a camada superficial 0-20 cm, e para as profundidades avaliadas. Os resultados obtidos estão apresentados na TABELA 15. Considerando as médias obtidas na camada de 0-20 cm, os valores são categorizados como baixos em T1 e T6, médios em T2, T3 e T4 e alto em T5, de acordo com os padrões da CFSEMG (1999).

TABELA 15 Alumínio trocável (Al^{3+}) em seis coberturas vegetais e duas profundidades

Cobertura	Profundidade (cm)		
	0-10	10-20	Média (0-20)
	.....Al^{3+} (cmol _c dm ⁻³).....		
T1	0,20	0,27	0,23 a
T2	0,75	1,12	0,93 c
T3	0,57	0,80	0,68 b
T4	0,85	1,00	0,92 c
T5	1,15	1,30	1,22 d
T6	0,12	0,35	0,23 a
Média (P)	0,60 A	0,80 B	
CV1%	25,67		
CV2%	18,07		

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem entre si pelo teste de Skott-Knott a 5% de significância.

Em relação à diferença observada entre as camadas avaliadas, credita-se o menor valor obtido na profundidade de 0-10 cm, ao efeito de complexação do Al^{3+} exercido pela matéria orgânica e aos valores de pH (TABELA 13), que em geral são mais elevados nesta camada (0-10 cm), o que promove redução nos teores de alumínio trocável.

As diferenças observadas entre as coberturas, detectadas pelos teores de Al^{3+} são ainda maiores do que aquelas detectadas pelo pH, mostrando a sensibilidade deste atributo da acidez do solo em detectar as alterações promovidas pelas distintas coberturas vegetais avaliadas. Os subsistemas T1 (pinus) e T6 (mata) apresentaram os menores valores de Al^{3+} , denotando a similaridade entre estas coberturas quanto a este atributo, apesar do solo em T1 apresentar processo erosivo mais acentuado (FIGURA 10) e compactação (item 4.2.2); o que a princípio deveria conduzir maior perda de fertilidade e conseqüente aumento da acidez trocável. Lopes (1983) identificou maiores teores de Al^{3+} em solos revestidos por plantios de *Pinus* sp. do que sob vegetação nativa, sendo os valores encontrados duas vezes maiores do que aqueles detectados sob a condição natural; provavelmente associados à pequena redução do pH diagnosticada pela autora.

A cobertura T3 (pinus+braquiária) apresentou valor de Al^{3+} mais elevado do que o observado em T1 e T6. Os solos revestidos por T2 (braquiária) e T4 (eucalipto+braquiária) apresentaram valores intermediários e estatisticamente iguais entre si, enquanto T5 (eucalipto) apresentou o maior valor. Como a biomassa existente em T3 é consideravelmente maior do que aquela existente em T2, esperava-se que o teor de Al^{3+} neste último fosse menor que em T3. Porém, tal fato não foi observado, o que pode estar associado à remoção promovida pelos animais em T2 e ao crescimento lento do Pinus em T3. Mas é interessante considerar que o valor obtido em T3 é estatisticamente menor do que aquele obtido em T1, fato que causou surpresa, mas provavelmente está

associado à exportação promovida pelos animais, uma vez que em T3 há presença de gramíneas, apesar da reduzida biomassa de forrageiras (item 4.1). Outro ponto que será discutido mais adiante é o efeito da distribuição irregular de excretas animais, que poderá levar a alterações em algumas propriedades químicas do solo.

As coberturas T2 (braquiária) e T4 (eucalipto+braquiária) são as que apresentam maior produção de forrageiras (item 4.1), apesar de T4 apresentar apenas cerca de 1/3 da matéria seca graminosa obtida em T2. No entanto, estas coberturas apresentam valores de alumínio trocável estatisticamente iguais, em virtude de T4 apresentar em sua composição árvores e gramíneas, o que leva à imobilização de nutrientes na biomassa arbórea, além da remoção promovida via pastoreio da forragem existente pelos animais, tornando os subsistemas T2 e T4 extremamente semelhantes quanto a este atributo.

O valor mais elevado de Al^{3+} foi apresentado pela cobertura T5, em razão da elevada taxa de crescimento do eucalipto, o que promove intensa remoção de bases (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+), conforme será demonstrado mais adiante (item 4.3.2). Junte-se a isso, o fato de ter-se observado erosão laminar neste ambiente (conforme FIGURA 9), fator que geralmente conduz a redução da fertilidade e elevação dos atributos indicadores da acidez. Relatos de elevação dos níveis de Al^{3+} no solo promovido por povoamento de *Eucalyptus* são comuns na literatura (Zinn, 1998; Martins et al., 2002; Gama-Rodrigues et al., 2008)

As estimativas para os contrastes mutuamente ortogonais para Al^{3+} são apresentadas na TABELA 16. Coberturas sob intervenção antrópica, de modo geral, levaram a um aumento de 4 vezes na concentração do alumínio trocável em relação ao ambiente natural, conforme pode-se observar pela estimativa do C1.

TABELA 16 Contrastes mutuamente ortogonais para variável alumínio trocável (Al^{3+}) para a profundidade de 0-20 cm

Variável	Al^{3+} (0-20 cm)	Efeitos testados
Contrastes	Estimativas	
C1	0,56*	pisoteio X ausência de pisoteio
C2	0,11 ^{n.s.}	braquiária X ausência de braquiária
C3	0,13 ^{n.s.}	braquiária pura X braquiária consorciada
C4	-0,23*	pinus consorciado X eucalipto consorciado
C5	-0,98*	pinus X eucalipto

Estimativas significativas são indicadas pelo símbolo *, enquanto a sigla ^{n.s.} indica estimativas não significativas, ao nível de 5% pelo teste F.

Ao se testar o efeito da presença de braquiária *versus* sua ausência (contraste C2), não se percebe aumento significativo nos níveis de Al^{3+} . Fato semelhante ocorre ao se contrastar o efeito da gramínea pura *versus* gramínea consorciada a cultivos florestais (contraste C3).

Confrontando-se o efeito promovido por pinus *versus* eucalipto (C5), detectou-se 0,98 unidades a mais no teor de alumínio trocável na área revestida por *Eucalyptus grandis*, o que representa um aumento de 6 vezes em relação ao teor observado sob *Pinus*. Ao se promover o consórcio com a *Brachiaria decumbens* nos cultivos silvícolas, há sensível redução das diferenças observadas entre os solos revestidos por pinus e eucalipto quanto, conforme demonstrado pelo contraste C4. A adoção do consórcio, portanto, representa uma redução significativa do impacto promovido pelo eucalipto sobre a elevação da acidez trocável (que é representada predominantemente pelo Al^{3+}).

4.3.1.3 Acidez potencial (H + Al)

A análise de variância (TABELA 5A), quanto à acidez potencial (H + Al) detectou diferenças significativas entre as coberturas, considerando valores

médios obtidos na camada superficial (0-20 cm). Não se observaram diferenças entre as camadas avaliadas, nem tampouco para a interação entre profundidade *versus* coberturas. Os resultados são apresentados na TABELA 17, sendo categorizados como médios em T1, T2, T3, T4 e T6 e alto apenas em T5, considerando a camada de 0-20 cm e de acordo com a CFSEMG (1999).

A cobertura T1 (pinus) apresentou o menor valor de acidez potencial, enquanto T3 (pinus+braquiária) e T6 (mata) apresentaram valores um pouco mais elevados, seguido por T2 (braquiária) T4 (eucalipto+braquiária). Elevação mais pronunciada ocorreu na cobertura T5 (eucalipto).

TABELA 17 Acidez potencial (H+ Al) em seis diferentes coberturas e duas profundidades

Cobertura	Profundidade (cm)		
	0-10	10-20	Média (0-20)
	.....H+Al(cmol _c dm ⁻³).....		
T1	3,22	2,75	2,98 a
T2	4,82	5,02	4,92 c
T3	4,17	3,60	3,88 b
T4	4,75	4,75	4,75 c
T5	5,80	5,65	5,72 d
T6	4,05	4,05	4,05 b
CV1%	15,09		
CV2%	12,23		

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Skott-Knott a 5% de significância.

As estimativas para os contrastes mutuamente ortogonais para a acidez trocável são apresentadas na TABELA 18. Foram detectadas diferenças significativas pelo teste F a 5% para os contrastes C3, C4 e C5.

TABELA 18 Contrastes mutuamente ortogonais para variável acidez potencial (H + Al) para a profundidade de 0-20 cm

Variável	H + Al (0-20 cm)	Efeitos testados
Contrastes	Estimativas	
C1	0,40 ^{n.s.}	pisoteio X ausência de pisoteio
C2	0,16 ^{n.s.}	braquiária X ausência de Brachiaria
C3	0,60*	Braquiária pura X braquiária consorciada
C4	-0,86*	pinus consorciado X eucalipto consorc.
C5	-2,73*	pinus X eucalipto

Estimativas significativas são indicadas pelo símbolo *, enquanto a sigla ^{n.s.} indica estimativas não significativas, ao nível de 5% pelo teste F

A ação antrópica (contraste C1) não promoveu qualquer alteração expressiva deste atributo. O mesmo ocorreu ao se comparar dentro do sistema silvipastoril aqueles ambientes que apresentavam gramíneas ou não (contraste C2).

Por meio do contraste C3 percebe-se que a acidez potencial foi mais elevada na pastagem pura (T2) em relação às pastagens consorciadas (T3 e T4), indicando que os consórcios levam a uma pequena redução das cargas negativas dependentes de pH. Esta redução também é observada no contraste C4, sendo o consórcio com pinus (T3) responsável pela alteração, o que é confirmado pelo contraste C5 cuja estimativa é ampliada. A redução da acidez potencial promovida pelas coberturas de pinus (T1 e T3) provavelmente é promovida pela perda mais acentuada de matéria orgânica do solo verificada nestes subsistemas, conforme será discutido no item 4.4.

4.3.2 Níveis de nutrientes

4.3.2.1 Cálcio trocável

A interação entre coberturas *versus* profundidades foi significativa pelo teste F a 5% de probabilidade (TABELA 5A) para os teores de cálcio trocável. Observa-se que este atributo foi bastante sensível para diagnosticar diferenças entre as coberturas e profundidades avaliadas. Os resultados encontrados estão dispostos na FIGURA 13.

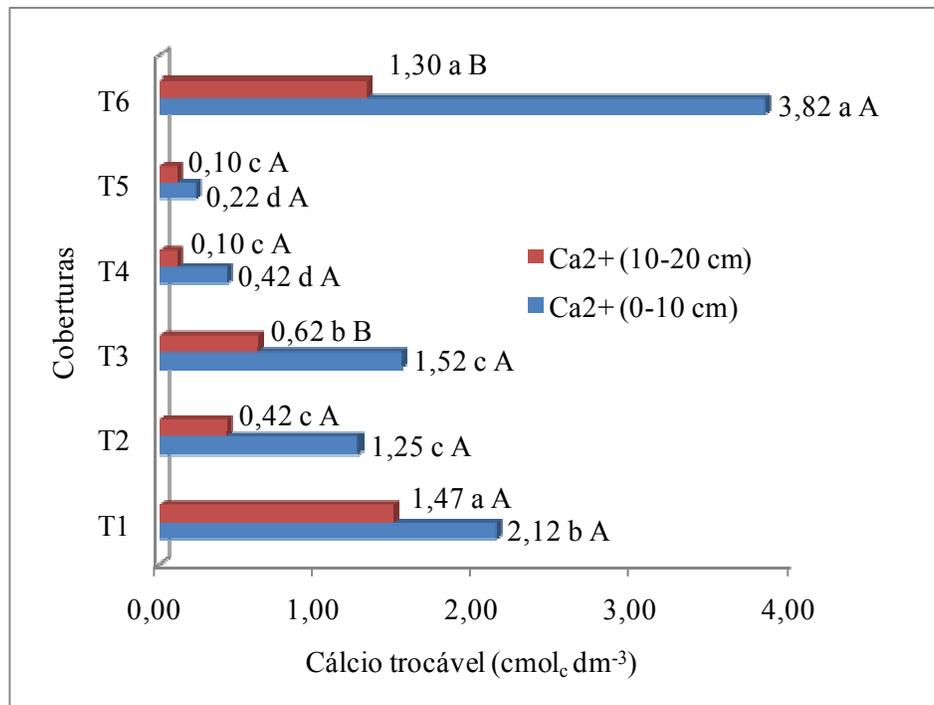


FIGURA 13 Cálcio trocável em seis diferentes coberturas e duas profundidades. Médias seguidas por letras distintas, minúsculas ao se referirem a valores observados nas coberturas dentro de uma mesma profundidade, e maiúsculas ao se reportarem a valores entre as profundidades avaliadas dentro de uma mesma cobertura, diferem entre si pelo teste de Skott-Knott a 5% de significância.

Os valores encontrados para cálcio trocável na profundidade 0-10 cm, conforme classificação apresentada pela CFSEMG (1999) variam de muito baixo em T5 (eucalipto) até níveis considerados altos em T6 (mata). Já para a profundidade de 10-20 cm, as concentrações são consideradas desde muito baixas nos subsistemas T4 (eucalipto+braquiária) e T5 (eucalipto) até patamares médios nas coberturas T1 (pinus) e T6 (mata). Os resultados apresentados demonstram que os níveis de cálcio são sempre mais elevados na camada de 0-10 cm, apresentando geralmente valor duas vezes maior do que o observado na camada de 10 a 20 cm, fato indicativo do efeito de ciclagem dos nutrientes promovidos pela vegetação. No entanto, a diferença entre as profundidades nem sempre é detectada estatisticamente para todas as coberturas (T1, T2, T4 e T5) em razão da alta variabilidade dos dados (TABELA 5A).

Observa-se para as duas profundidades avaliadas que os menores níveis de cálcio trocável foram diagnosticados nas coberturas caracterizadas pela presença do eucalipto (T4 e T5). No entanto, ao considerar a camada de 0-10 cm, observa-se que a concentração de Ca^{2+} obtida em T4 (eucalipto+braquiária) foi o dobro da encontrada em T5 (eucalipto), apesar de não diferir estatisticamente. Baixos níveis de cálcio trocável no solo encontrados em plantios de *Eucalyptus* sp se devem à elevada demanda nutricional de Ca por este gênero e são comumente descritos na literatura, conforme relatado abaixo.

Em povoamento jovem (2,5 anos) de *Eucalyptus* sp, Poggiani et al. (1984) identificaram que o Ca é o segundo elemento requerido em maiores quantidades por esta cultura e concluíram que, para as condições do povoamento analisado, a adubação inicial seria insuficiente para repor os nutrientes exportados pela colheita, levando ao empobrecimento do solo. Em plantio mais longo (16 anos) entretanto, o cálcio é o principal elemento requerido pelo *Eucalyptus* sp. e a sua quantidade retida na biomassa arbórea pode chegar próximo a 1 Mg ha^{-1} (Gama-Rodrigues, 1997). A redução do teores de Ca^{2+} no

solo, causadas pela elevada demanda nutricional por eucalipto, pode chegar a 1/3 dos teores encontrados sob a condição natural, na camada de 0-10 cm em plantio longo (Gama-Rodrigues et al., 1997), mas também já foi verificada em plantio jovem com 32 meses. (Gama-Rodrigues et al., 2008).

Valores intermediários de Ca^{2+} foram observados em T2 (braquiária) e T3 (pinus+braquiária) para as duas camadas avaliadas. Nota-se, entretanto, valores ligeiramente mais elevados em T3, o que evidencia maior eficiência na ciclagem biogeoquímica (Poggiani, 1985) sob esta cobertura para o cálcio trocável em relação às coberturas com eucalipto (T4 e T5).

Dentre os ambientes encontrados no sistema silvipastoril (T1, T2, T3, T4 e T5), apenas T1 (pinus) apresentou os teores mais elevados de Ca^{2+} , ficando aquém apenas da condição natural (T6) na camada de 0-10 cm. No entanto, para a camada de 10-20 cm os valores detectados para T1 e T6 são estatisticamente iguais, o que sugere menor impacto promovido pelo *Pinus tecunumanii* (T1) sobre este atributo. Acredita-se que a depleção observada nos níveis de Ca^{2+} em T1 na camada de 0-10 cm em relação à condição controle T6, é resultado da erosão laminar (FIGURA 10), uma vez que os valores diagnosticados para a profundidade de 10-20 cm apresentam notável semelhança entre estas coberturas. Outra possibilidade é que o uso pretérito (com culturas anuais) levou à exportação de nutrientes.

Alguns pesquisadores diagnosticaram redução nos níveis de cálcio trocável no solo em povoamentos de *Pinus* sp. Zinn (1998) constatou redução nos níveis de cálcio em povoamento de *Pinus caribaea* (20 anos e implantado sem fertilização) até a profundidade de 60 cm. Níveis baixíssimos teores de Ca e Mg trocáveis no solo foram identificados em povoamentos de *Pinus caribaea* (20 anos) implantado em Latossolo Amarelo até a profundidade de 3 m (Chaves & Correa, 2005), fato ligado à imobilização desses elementos na serrapilheira e ao caráter ácido (predomínio de cargas positivas no complexo de troca)

apresentado pelo solo avaliado pelo referido estudo, conforme concluíram os autores.

Mafra et al. (2008) também detectaram menores teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} sob plantações de *Pinus* sp, porém, com o aumento da idade, houve menor depleção nos teores, causado pelo retorno de nutrientes ao solo via ciclagem biogeoquímica que tende a aumentar com a idade do reflorestamento. Cerca de 50% dos macronutrientes requeridos por povoamentos de *Pinus taeda* (20 anos) foram aportados pela caída de serrapilheira (Perez et al., 2006).

As reduções de Ca^{2+} em solo revestido por *Pinus* sp. relatadas na literatura podem estar mais ligadas a outros fatores do que propriamente à ação desta essência florestal sobre a fertilidade do solo. A ausência, ou uso insignificante, de fertilização inicial, implantação em solos de baixíssima fertilidade natural e tempo de condução mais longo, em relação a povoamentos de *Eucalyptus* sp, são componentes que interferem nos resultados apresentados nos estudos supracitados e que não estão intrinsicamente ligados à ação do *Pinus* sp. sobre o solo.

Alguns estudos corroboram com afirmação anterior. Apesar dos freqüentes relatos sobre redução dos níveis de Ca^{2+} em plantios de *Pinus* sp, já se observou em povoamentos deste gênero enriquecimento nos teores de Ca^{2+} (camada de 0-60 cm), em relação à condição natural de cerrado (Lopes, 1983). Outra questão que reforça esta idéia são as constatações provenientes dos estudos de Poggiani (1985), onde se detectou que o conteúdo de cálcio na biomassa epígea de plantio de *Pinus* sp. é cerca de 9 vezes menor do que aquele encontrado em povoamento de *Eucalyptus* sp, para povoamentos de biomassa epígea semelhante. Portanto, a menor demanda nutricional por Ca^{2+} pelo *Pinus* sp ou maior ciclagem biogeoquímica para este elemento, explica as diferenças observadas neste estudo entre parcelas revestidas por *Pinus tecunumanii* (T1 e T3) e aquelas revestidas por *Eucalyptus grandis* (T4 e T5).

As estimativas obtidas para os contrastes mutuamente ortogonais para os níveis de cálcio trocável são apresentadas na TABELA 18.

O contraste C1 indica forte redução nos níveis de Ca^{2+} em ambientes sob pisoteio para a camada de 0-10 cm. Para a profundidade de 10-20 cm a depleção é menor, em virtude dos teores de Ca^{2+} serem mais reduzidos nesta camada em todas as coberturas e por ser a mesma menos susceptível a alterações conforme constatado na literatura.

TABELA 18 Contrastes mutuamente ortogonais para variável cálcio trocável (Ca^{2+}) para as profundidades ¹(0-10 cm) e ²(10-20 cm)

Variável	¹ Ca^{2+}	² Ca^{2+}	Efeitos testados
Contrastes	Estimativas		
C1	-2,71*	-0,75*	pisoteio X ausência de pisoteio
C2	-0,10 ^{n.s.}	-0,40*	braquiária X ausência de braquiária
C3	0,27 ^{n.s.}	0,06 ^{n.s.}	Braquiária pura X braquiária consorciada
C4	1,10*	0,52*	pinus consorciado X eucalipto consorc.
C5	1,90*	1,37*	pinus X eucalipto

Estimativas significativas são indicadas pelo símbolo *, enquanto a sigla ^{n.s.} indica estimativas não significativas, ao nível de 5% pelo teste F.

O contraste C2 para a profundidade de 0-10 cm indica que não há alterações nos níveis de Ca^{2+} ao se comparar dentro do SSP ambientes que apresentem ou não extrato graminoso. Para a camada de 10-20 cm, entretanto, observam-se diferenças significativas, indicando acréscimos nos níveis de cálcio trocável em ambientes sem extrato graminoso. No entanto, o fato de se encontrar maiores níveis de Ca^{2+} em coberturas onde a gramínea está ausente (T1 e T5) está associado aos maiores valores encontrado em T1 (pinus), conforme discutido para o teste de Scott-Knott anteriormente, não havendo significado prático para este contraste.

Por meio das estimativas do contraste C3, considerando as duas camadas avaliadas não se observaram modificações significativas, revelando que o consórcio de pastagem com espécies arbóreas possui níveis de cálcio semelhantes aos detectados em pastagem solteira.

Os contrastes C4 e C5 apresentaram estimativas significativas para as duas profundidades de análise e apenas indicam que o cultivo de *Eucalyptus* sp, consorciado com gramíneas ou não, em relação ao cultivo de *Pinus* sp, promove elevada redução nos teores de cálcio trocável pelos motivos já expostos.

4.3.2.2 Magnésio trocável

A análise de variância (TABELA 5A) demonstrou que há diferenças significativas para a interação entre coberturas e profundidades avaliadas para este atributo. Os desdobramentos e respectivas diferenças detectadas através do teste de Scott-Knott a 5% de significância, estão dispostos na FIGURA 14.

O panorama diagnosticado para magnésio trocável é semelhante ao apresentado para Ca^{2+} , entretanto, os teores de Mg^{2+} foram mais sensíveis em detectar as alterações promovidas pelas distintas coberturas vegetais e práticas a elas associadas (pisoteio continuado e ocorrência de incêndios). Os teores de Mg^{2+} trocáveis observados nas diferentes coberturas variaram de níveis muito baixos a altos, de acordo com os critérios adotados pela CFSEMG (1999), o que demonstra a influência da cobertura vegetal sobre este atributo. Em geral, são muito baixos nas coberturas T4 e T5, baixos em T2 e T3, médios em T1 e altos em T6.

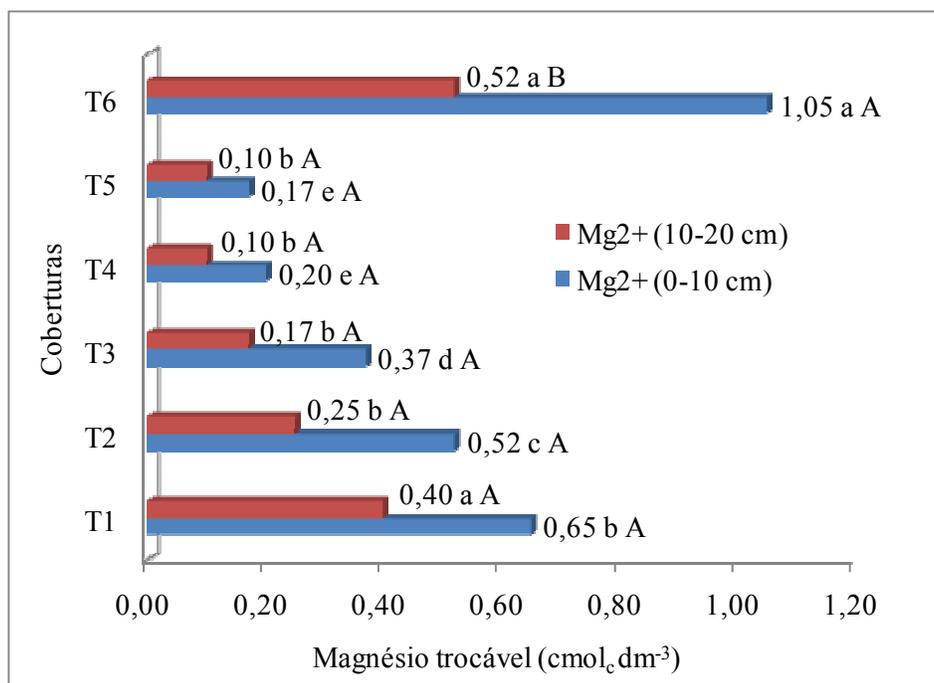


FIGURA 14 Teores de magnésio trocável (cmol_c dm⁻³) em seis coberturas e duas profundidades. Médias seguidas por letras distintas, minúsculas ao se referirem a valores observados nas coberturas dentro de uma mesma profundidade, e maiúsculas ao se reportarem a valores entre as profundidades avaliadas dentro de uma mesma cobertura, diferem entre si pelo teste de Skott-Knott a 5% de significância.

As diferenças mais marcantes entre as coberturas vegetais foram registradas na camada de 0-10 cm, denotando que os distintos subsistemas silvipastoris avaliados promovem alterações mais pronunciadas nos padrões de fertilidade natural nesta camada. Para a profundidade de 10-20 cm, apenas T1 (pinus) e T6 (mata) apresentaram níveis de Mg²⁺ mais elevados do que o detectado nas demais coberturas. A similaridade entre T1 e T6, na camada de 10-20 cm, demonstra que o revestimento de pinus (T1) é aquele que promove

menor impacto nos níveis deste nutriente em razão de seu crescimento mais lento e menor imobilização deste cátion na sua biomassa (reflexo da maior ciclagem biogeoquímica como discorrido no item 2.3).

Como as diferenças foram mais acentuadas na camada de 0-10 cm, dar-se-á ênfase à mesma na discussão a seguir.

Coberturas caracterizadas pela presença do eucalipto (T4 e T5) apresentaram os menores níveis deste nutriente, sendo estatisticamente distintas das demais. O conteúdo de magnésio na biomassa aérea de *Eucalyptus* sp é cerca de 2 vezes maior do que em *Pinus* sp, considerando povoamentos com biomassa epígea semelhante (Poggiani, 1985), o que demonstra a maior quantidade deste nutriente retido pelo eucalipto. Portanto, os níveis mais baixos de Mg^{2+} no solo detectados no presente estudo em revestimento de *Eucalyptus* sp., particularmente comparados aos observados sob coberturas de *Pinus* (T3 e T1), provavelmente são reflexos de sua maior biomassa, não mensurada, mas visível a campo, bem como da maior imobilização deste cátion promovida por esta espécie, conforme relatado por Poggiani (1985).

Níveis intermediários foram encontrados em T3 (pinus+braquiária) e T2 (braquiária), sendo que T2 apresentou teor estatisticamente mais elevado do que T3, provavelmente promovido pela menor biomassa da braquiária, que leva à menor imobilização do nutriente e conseqüentemente à maior disponibilidade no solo.

O revestimento de *Pinus tecunumanii* (T1), dentre os ambientes silvipastoris, foi aquele que apresentou os maiores valores de Mg^{2+} . Não se esperavam diferenças tão pronunciadas entre T1 (pinus) e T3 (pinus+braquiária), dadas as suas semelhanças. Entretanto, aventam-se algumas hipóteses para a maior fertilidade observada em T1 (tanto para Ca^{2+} quanto para Mg^{2+}), conforme descrito a seguir:

1) a erosão laminar observada no subsistema T1 (pinus) expõe camadas subjacentes de solo mais fértil, uma vez que o povoamento está assentado em Argissolo de média fertilidade natural, promovendo maiores níveis de Ca^{2+} e Mg^{2+} na camada superficial;

2) como não há presença de gramíneas em T1 (pinus), a remoção de nutrientes por pastoreio é nula, e uma vez que o pastejo é realizado de forma contínua, espera-se que a exportação de nutrientes em T3 (pinus+braquiária) promovida pelos animais seja considerável, apesar da reduzida produção de matéria seca de gramíneas em T3 (1 Mg ha^{-1}), mas que ao longo de 15 anos de pastoreio possa levar a este quadro.

3) o fato dos animais utilizarem o subsistema T1 (pinus) como abrigo para eventos climáticos de maior severidade (vento intenso, chuva e extremos de temperatura) e até mesmo como dormitório (conforme identificado a campo no momento da amostragem, sendo retratado nas FIGURAS 15 e 16), promove maior deposição de resíduos orgânicos e aumento da fertilidade na camada superficial, apesar de não se verificar no momento da amostragem deposição irregular de fezes bovinas;

4) é possível também que as alterações dos atributos físicos, compactação ou adensamento, diagnosticados no subsistema T1 leve à redução do movimento de água ao longo do perfil do solo e promova menores perdas de cátions por lixiviação.

No presente estudo, verificou-se redução nos níveis de Mg^{2+} em parcelas caracterizadas pela presença de *Pinus tecunumanii* (T1 e T3) em relação a vegetação nativa (T6), na camada de 0-10 cm. Já para a camada de 10-20 cm, os valores encontrados em T1 e T6 são estatisticamente iguais, corroborando com a hipótese do decréscimo da fertilidade em T1 ser provocado pela erosão laminar observada a campo neste subsistema. Na literatura há relatos sobre alterações

não significativas nos teores de Mg^{2+} (Lopes, 1983), bem como redução em relação à vegetação nativa (Zinn, 1998) em solo revestido por *Pinus* sp.



FIGURA 15 Entrada do gado bovino no povoamento de *Pinus* ao anoitecer



FIGURA 16 Saída do gado bovino do povoamento de *Pinus* ao amanhecer

As estimativas dos contrastes mutuamente ortogonais referentes às mudanças nos níveis de Mg^{2+} para as duas profundidades amostradas são apresentadas na TABELA 19.

TABELA 19 Contrastes mutuamente ortogonais para variável magnésio trocável (Mg^{2+}) para as profundidades ¹(0-10 cm) e ²(10-20 cm)

Variável	₁ Mg^{2+}	₂ Mg^{2+}	Efeitos testados
Contrastes	Estimativas		
C1	-0,66*	-0,32*	pisoteio X ausência de pisoteio
C2	-0,04 ^{n.s.}	-0,07 ^{n.s.}	braquiária X ausência de braquiária
C3	0,23*	0,11 ^{n.s.}	braquiária pura X braquiária consorciada
C4	0,17*	0,07 ^{n.s.}	pinus consorciado X eucalipto consorc.
C5	0,47*	0,30*	pinus X eucalipto

Estimativas significativas são indicadas pelo símbolo *, enquanto a sigla ^{n.s.} indica estimativas não significativas, ao nível de 5% pelo teste F.

A ação antrópica avaliada por meio do contraste C1, onde se confrontam 5 subsistemas silvipastoris com a condição natural, promoveu redução dos níveis de Mg^{2+} nas duas camadas avaliadas, revelando nítida perda de nutrientes.

Dentro do SSP, a ocorrência de extrato graminoso (*Brachiaria decumbens*) aparentemente não provocou mudanças significativas nos níveis de Mg^{2+} para as duas camadas avaliadas, o que é demonstrado pelo contraste C2. Por outro lado, ao se avaliar este atributo nos subsistemas silvipastoris que apresentam braquiária, percebe-se que a adoção do consórcio de árvores com gramíneas comparadas à pastagem pura (contraste C3), causou redução significativa de Mg^{2+} na camada de 0-10 cm. Portanto, as espécies arbóreas promovem maiores alterações nos padrões de fertilidade do que as gramíneas em razão da maior absorção e retenção de nutrientes na biomassa.

Confrontando-se os subsistemas consorciados (T3 e T4), através do contraste C4, observou-se que a cobertura T3 (pinus+braquiária) apresentou 0,17 unidades a mais no teor de Mg^{2+} do que em T4 (eucalipto+braquiária) na camada de 0-10 cm, indicando que o pinus promove menores impactos do que o eucalipto na fertilidade do solo. Esta afirmação é confirmada pelo contraste C5, onde se observaram reduções significativas nas duas camadas avaliadas no ambiente revestido por *Eucalyptus grandis* (T5), quando se contrasta as duas espécies florestais em monocultivo.

4.3.2.3 Potássio trocável (K^+)

Para os teores de potássio trocável (K^+) não se detectou efeito de interação entre coberturas e profundidades avaliadas pela análise de variância (TABELA 5A). No entanto, para valores médios obtidos na camada de 0-20 cm, houve diferença significativa ao nível de 5% para as fontes de variação cobertura e profundidade. Os resultados obtidos para (K^+) estão dispostos na TABELA 20, sendo considerados baixos em T2, T3, T4 e T5, enquanto em T1 e T6 são categorizados como médios pela CFSEMG (1999).

Apenas as coberturas T1 (pinus) e T6 (mata) apresentaram níveis mais elevados de potássio trocável do que o detectado nas demais. O potássio é o segundo elemento requerido em maiores quantidades pelo *Pinus* sp (La Torraca et al., 1984), portanto, era esperado que nas áreas revestidas por *Pinus* sp. se observassem menores teores de K^+ . A literatura consultada apresenta relatos tanto sobre alterações não significativas nos teores de K^+ em solos revestidos por povoamentos de *Pinus* em relação à vegetação nativa (Lopes, 1983), quanto sobre reduções (Zinn, 1998; Martins et al., 2002). No entanto, a similaridade entre T1 (pinus) e T6 (mata), conforme constatada também para Ca^{2+} e Mg^{2+} (em menor escala), está ligada não apenas à ação da vegetação, mas ao

comportamento dos animais, sendo que os resultados apresentados para K^+ indicam a assertiva desta hipótese, pelos motivos que serão expostos.

TABELA 20 Teores de potássio trocável (K^+) em seis coberturas e duas profundidades

Coberturas	Profundidade (cm)		
	0-10	10-20	Média (0-20)
	K^+ ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)		
T1	0,18	0,13	0,15 a
T2	0,10	0,05	0,08 b
T3	0,08	0,10	0,09 b
T4	0,08	0,04	0,06 b
T5	0,10	0,04	0,07 b
T6	0,20	0,14	0,17 a
Média (P)	0,12 A	0,08 B	
CV1(%)	69,31		
CV2(%)	27,77		

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem entre si pelo teste de Skott-Knott a 5% de significância.

A distribuição de excretas é mais desuniforme em áreas de pastoreio contínuo, sendo que os locais de descanso, dessedentação, suplementação mineral e de sombreamento são preferencialmente utilizados, sendo que apenas cerca de 30% da área da pastagem é normalmente coberta por excreções (Ferreira et al., 2004). É comum que os animais se utilizem de adensamentos arbóreos mais fechados em pastagens para se abrigar da chuva e de extremos de temperatura, o que leva à maior deposição de resíduos nestes ambientes. Outro ponto, já retratado no item anterior, é o fato dos animais adentrarem ao povoamento de *Pinus tecunumanii* ao cair da noite, o que está relacionado ao

fato desta cobertura proporcionar um excelente “colchão” para o repouso dos animais, o que certamente promove maior deposição de resíduos animais sobre este ambiente.

Em média, 80% do N, 78 % do P e 95% do K presente na forragem é retornada ao ambiente pelas excretas dos animais (Vendramini et al., 2007). Portanto, percebe-se que a exportação de potássio em uma pastagem promovida pela ação animal é insignificante. No entanto, como sob pastoreio contínuo a distribuição das excretas é irregular (Ferreira et al., 2004), espera-se empobrecimento de algumas áreas e enriquecimento em outras, principalmente para o nutriente em questão (K^+).

As evidências científicas relatadas nos dois parágrafos anteriores explicariam os teores de K^+ mais elevados em T1 (pinus), uma vez que foi observada distribuição desuniforme de excretas (fezes) no SSP, na área em estudo em momentos posteriores à coleta de solo, como em 11/2009, conforme ilustrado na FIGURA 17. Vale destacar que na data das coletas (03/2009) não se observou esta desuniformidade, o que está relacionado à rápida decomposição das fezes bovinas em SSP, conforme relatado por Soca et al. (2006). Ressalta-se também que a deposição de urina é dificilmente observável e a mesma apresenta concentração elevada de potássio.



FIGURA 17 Deposição irregular de fezes bovinas na cobertura de Pinus (T1) observada em 11/2009, 8 meses após a coleta de solo.

Redução nos teores de K^+ em povoamentos de *Eucalyptus* sp. são comuns na literatura (Zinn, 1998; Martins et al., 2002), concordando com o observado neste estudo.

No entanto, relatos sobre elevação dos teores de K^+ sob cobertura de gramíneas em relação a povoamentos florestais são frequentemente relatados na literatura (Mafra et al., 2008; Gama-Rodrigues et al., 2008), o que distoa do observado neste estudo em T2 (braquiária). Este comportamento não foi observado no presente trabalho, sendo que a pastagem solteira (T2) não apresentou teores de K^+ mais elevados do que aqueles diagnosticados sob as coberturas florestais, fato provavelmente associado à distribuição irregular de excretas animais sob sistema de pastoreio contínuo (Ferreira et al., 2004), que

certamente promove o enriquecimento de algumas áreas ao custo do empobrecimento de outras.

A seguir são apresentadas as estimativas dos contrastes mutuamente ortogonais (TABELA 21) referentes aos teores de K^+ observados na camada de 0-20 cm.

TABELA 21 Contrastes mutuamente ortogonais para variável potássio trocável (K^+) para a profundidade de 0-20 cm.

Variável	K^+	Efeitos testados
Contrastes	Estimativas	
C1	-0,08*	pisoteio X ausência de pisoteio
C2	-0,03 ^{n.s.}	braquiária X ausência de braquiária
C3	0,00 ^{n.s.}	braquiária pura X braquiária consorciada
C4	0,02 ^{n.s.}	pinus consorciado X eucalipto consorciado
C5	0,08*	pinus X eucalipto

Estimativas significativas são indicadas pelo símbolo *, enquanto a sigla ^{n.s.} indica estimativas não significativas, ao nível de 5% pelo teste F.

Ambientes sob ação antrópica promoveram redução nos níveis de K^+ de quase 100% em relação ao ambiente natural, conforme se observa pela estimativa do contraste C1, onde a mata apresentou 0,08 unidades a mais do que a média obtida para os subsistemas silvipastoris.

Dentro do SSP, efeitos promovidos pela presença da braquiária (contraste C2) e pelos consórcios dentro das coberturas com extrato graminoso (contraste C3) não apresentaram alterações significativas para este atributo. O mesmo ocorreu ao se confrontar dentro dos ambientes consorciados, o efeito promovido pelo pinus ou eucalipto (contraste C4).

Nas coberturas florestais não consorciadas (contraste C5), identificou-se que a parcela revestida por *Pinus tecunumanii* apresentou valores de K^+ significativamente mais elevados do que o observado sob *Eucalyptus grandis*, fato que está associado não apenas à ação dessas espécies, mas principalmente à presença de animais bovinos nesses ambientes, conforme discutido anteriormente.

4.3.2.4 Fósforo disponível (P)

Para teores de fósforo disponível detectou-se diferença significativa apenas para a fonte de variação profundidade, por meio da análise de variância a 5% de probabilidade (TABELA 5A). Os resultados obtidos para fósforo disponível são dispostos na TABELA 22. Os valores encontrados são considerados muito baixos pela classificação preconizada pela CFSEMG (1999) para todas as coberturas e profundidades avaliadas.

TABELA 22 Fósforo disponível em 6 coberturas e duas profundidades

Cobertura	Profundidade (cm)		
	0-10	10-20	Média (0-20)
	.....P(mg dm ⁻³).....		
T1	1,93	1,25	1,59
T2	1,30	1,05	1,18
T3	1,90	1,42	1,66
T4	1,17	1,02	1,10
T5	1,45	0,90	1,18
T6	1,30	1,17	1,24
Média (P)	1,48 A	1,13 B	
CV1 (%)	29,60		
CV2 (%)	19,98		

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem entre si pelo teste de Skott-Knott a 5% de significância.

Os teores detectados na camada de 0-10 cm são mais elevados do que aqueles observados de 10-20 cm, fato provavelmente associado ao maior teor de matéria orgânica do solo da primeira camada e ao efeito de ciclagem promovido pela vegetação.

Numericamente observa-se que as coberturas caracterizadas pela presença do *Pinus tecunumanii*(T1 e T3), particularmente na camada de 0-10 cm, apresentam teores de P ligeiramente maiores do que os determinados nas demais coberturas, incluindo a vegetação nativa. Mafra et al. (2008) também encontraram maiores teores de P sob plantação de *Pinus taeda* (20 anos), comparado a outras coberturas nativas e reflorestamentos.

4.3.2.5 Soma de bases (SB)

Em relação à soma de bases (SB), detectou-se diferença significativa ao nível de 5% de significância para a fonte de variação coberturas *versus* profundidades pela análise de variância (TABELA 5A). Os resultados obtidos para a soma de bases (SB) são apresentados na FIGURA 18. De acordo com os padrões adotados pela CFSEMG (1999), os valores encontrados são enquadrados como muito baixos em T4 e T5, baixos em T2 e T3, médios em T1 e altos em T6, considerando as médias de 0-20 cm.

Para a camada de 0-10 cm foram observadas as maiores diferenças, sendo os menores valores encontrados nas coberturas caracterizadas pela presença do eucalipto (T4 e T5). A seguir se apresentaram as coberturas T2 (braquiária) e T3 (pinus+braquiária), com valores 3 vezes maiores do que os observados em revestimentos de eucalipto (T4 e T5). Dentre os subsistemas silvipastoris T1 (pinus) apresentou SB mais elevada, em razão dos maiores teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ detectados nesta cobertura e discutidos anteriormente. O valor mais elevado para todas as coberturas analisadas foi detectado na mata (T6). Portanto, em relação à SB, a escala de alteração na profundidade de 0-10 cm obedece à seguinte ordem decrescente: $\text{T6} > \text{T1} > \text{T3} = \text{T2} > \text{T4} > \text{T5}$.

Já para a camada de 10-20 cm as diferenças foram menos evidentes, sendo que T1 (pinus) apresentou valor estatisticamente igual ao observado na condição natural. Redução acima de 50% (em relação ao observado em T6) foi observada em T2 e T3, enquanto que em T4 e T5 o valor obtido representa apenas 12,5% do valor original.

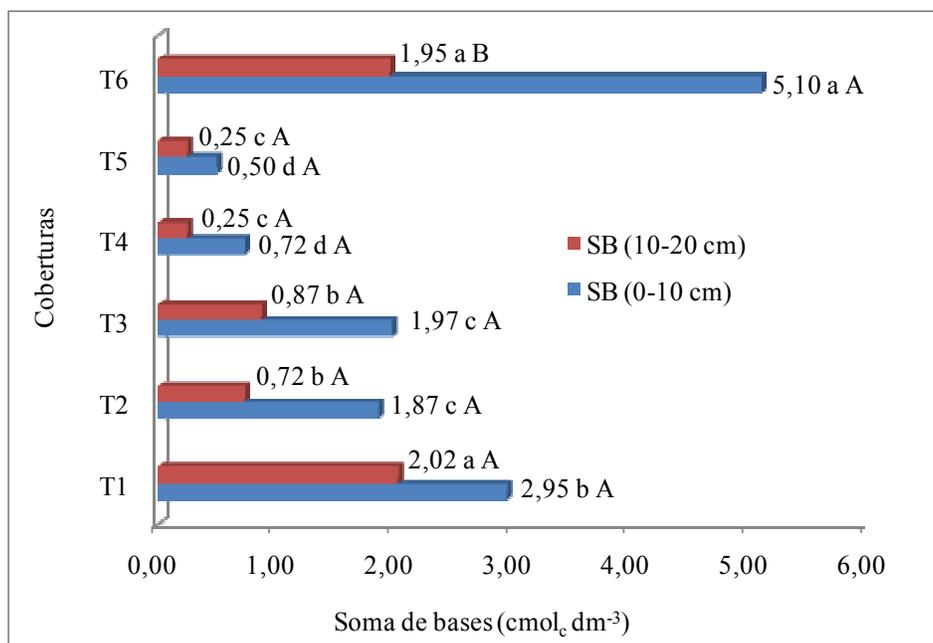


FIGURA 18 Soma de bases para seis coberturas e duas profundidades. Médias seguidas por letras distintas, minúsculas ao se referirem a valores observados nas coberturas dentro de uma mesma profundidade, e maiúsculas ao se reportarem a valores entre as profundidades avaliadas dentro de uma mesma cobertura, diferem entre si pelo teste de Skott-Knott a 5% de significância.

Valores de SB mais baixos sob plantio de *Pinus elliottii* do que sob cultivo de *Eucalyptus grandis* e pastagem foram identificados por Cóser et al. (1990). Discorrem os autores que a reduzida taxa de decomposição da manta orgânica do *Pinus* sp. leva a um grande acúmulo de nutrientes na serrapilheira, sendo que maiores estoques de nutrientes foram identificados na serrapilheira de pinus comparada a de eucalipto, em detrimento dos seus teores no solo, levando a redução da SB neste ambiente. Chaves & Corrêa (2005) também relataram que a serrapilheira de *Pinus* sp. é muito resistente à decomposição, e constitui o maior responsável pela imobilização de nutrientes em plantio de *Pinus* sp. Tratando-se de ambiente que sofreu vários incêndios (último datado de 4 anos),

como é o caso do SSP avaliado por este estudo, é de se esperar que os nutrientes, particularmente aqueles que não são facilmente volatilizados pela queima, como K, Ca e Mg, e que se encontravam imobilizados na serrapilheira sejam rapidamente mineralizados e disponibilizados para o solo. Portanto, é provável que a queima seja um dos fatores que levou o subsistema T1 (pinus) a apresentar SB mais elevada.

Menores valores de SB em *Pinus* sp (20 anos), em relação à vegetação nativa, foram atribuídos por Prado & Natale (2003) à baixa capacidade do gênero em resgatar nutrientes de camadas mais profundas e mobilizá-los até a superfície via deposição da serrapilheira. Porém, deve-se observar que a avaliação de Prado & Natale (2003) foi realizada sob Latossolo Vermelho com caráter ácrico, conhecidamente de baixíssimo teor de nutrientes catiônicos em camadas profundas; sendo que, mesmo com o enraizamento profundo do pinus, não haveria condições para que as árvores mobilizassem nutrientes da subsuperfície para a superfície. Para o presente estudo, entretanto, haveriam melhores condições para que o *Pinus* sp mobilizasse nutrientes de camadas mais profundas para aquelas superficiais, em razão do mesmo estar implantado sob Argissolo Vermelho-Amarelo (mesotrófico). Em avaliações de povoamentos de *Pinus* sp. implantados há 20 anos ou mais, algumas pesquisas (Lepsch, 1980; Zinn, 1998; Chaves & Corrêa, 2005) indicam um esgotamento das reservas nutricionais em solos distróficos. No entanto, para povoamentos de *Pinus* sp. mais jovens e para aqueles instalados em solos mesotróficos ou eutróficos pode-se ainda ter alguma reserva e não se observar depauperamento nutricional do solo, como é o caso do observado nesta avaliação.

Menor requerimento e retenção de nutrientes em povoamento de *Pinus* sp (principalmente de Ca, Mg e P) do que em plantio de *Eucalyptus* sp foi identificado por Poggiani (1985), o que indica maior eficiência na ciclagem biogeoquímica em *Pinus* sp. Portanto, é factível que solos revestidos por *Pinus*

sp apresentem SB mais elevada do que solos sob *Eucalyptus* sp, ao se considerar plantios de mesma idade, conforme constatado neste estudo.

A maior ciclagem biogeoquímica em plantio de *Pinus* sp, ocorrência de queima, evidências de distribuição irregular de excretas animais e o depauperamento físico observados em T1 (pinus) constituem fatores que levaram esta cobertura T1 a apresentar valores de SB mais elevado do que os diagnosticados nos demais subsistemas silvipastoris, bem como a apresentar valor estatisticamente igual ao diagnosticado na camada de 10-20 cm em T6 (mata).

As estimativas dos contrastes mutuamente ortogonais para a soma de bases são apresentadas na TABELA 23. As discussões são semelhantes àquelas realizadas para os níveis de Ca^{2+} e Mg^{2+} e, portanto, não são novamente retratadas.

TABELA 23 Contrastes mutuamente ortogonais para variável soma de bases (SB) para as profundidades ¹(0-10 cm) e ²(10-20 cm)

Variável	¹ SB	² SB	Efeitos testados
Contrastes	Estimativas		
C1	-3,49*	-1,12*	pisoteio X ausência de pisoteio
C2	-0,20 ^{n.s.}	-0,52*	braquiária X ausência de braquiária
C3	0,52*	0,16 ^{n.s.}	braquiária pura X braquiária consorciada
C4	1,25*	0,62*	pinus consorciado X eucalipto consorc.
C5	2,45*	1,77*	pinus X eucalipto

Estimativas significativas são indicadas pelo símbolo *, enquanto a sigla ^{n.s.} indica estimativas não significativas, ao nível de 5% pelo teste F.

4.3.2.6 Capacidade de troca catiônica efetiva (CTC_{ef})

Por meio da análise de variância (TABELA 5A) identificaram-se alterações promovidas pela fonte de variação coberturas *versus* profundidades ao

nível de 5% de significância, para a capacidade de troca catiônica efetiva (CTC_{ef}). De acordo com a classificação apresentada pela CFSEMG (1999), os valores de CTC_{ef} detectados para a camada de 0-10 cm variam de baixo (em T4 e T5), médio (em T1, T2 e T3) até alto na condição natural (T6). Já para a camada de 10-20 cm as variações são menores e todos os valores são considerados baixos. Os resultados obtidos são apresentados na FIGURA 19.

O efeito promovido pela profundidade é pronunciado apenas na cobertura T6 (mata), sendo que na camada de 0-10 cm é 2,3 vezes maior do que aquele observado de 10-20 cm. Este resultado é promovido certamente pelo maior teor de MOS (TABELA 26) observado na primeira camada, o que denota a importância da fração orgânica na geração de cargas negativas. Para as demais coberturas não se observou diferença significativa ao nível de 5% pelo teste de Skott-Knott para o efeito promovido pelas duas profundidades de amostragem.

Alterações promovidas pelas coberturas foram maiores na camada de 0-10 cm. Revestimentos de *Eucalyptus* (T4 e T5) apresentaram os menores valores em razão de dois motivos básicos. Primeiramente em razão da retenção de cátions de caráter básico (principalmente Ca e Mg) em sua biomassa, conforme discutido nos itens 4.3.2.1 e 4.3.2.2. E em segundo lugar, motivada pela redução de pH observada nestas coberturas (demonstrada no item 4.3.1.1) que geralmente leva à depleção da CTC_{ef} , uma vez que solos tropicais possuem carga dependente de pH.

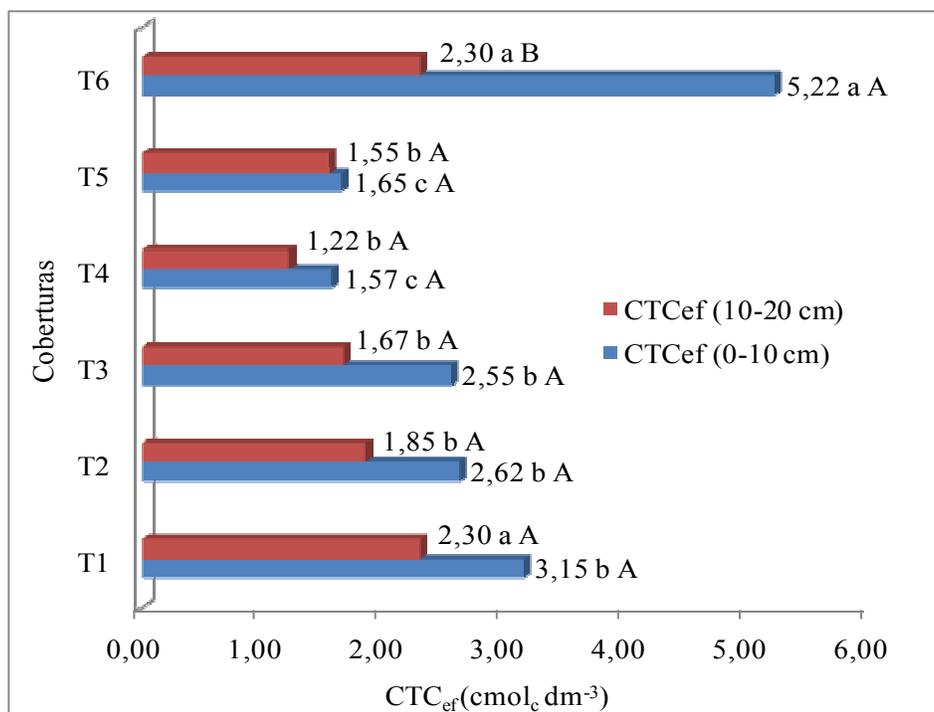


FIGURA 19 Capacidade de troca catiônica efetiva para seis diferentes coberturas e duas profundidades. Médias seguidas por letras distintas, minúsculas ao se referirem a valores observados nas coberturas dentro de uma mesma profundidade, e maiúsculas ao se reportarem a valores entre as profundidades avaliadas dentro de uma mesma cobertura, diferem entre si pelo teste de Skott-Knott a 5% de significância.

Valores intermediários (camada de 0-10 cm) foram identificados em T1 (pinus), T2 (braquiária) e T3 (pinus+braquiária), sendo os mesmos cerca de 2 vezes menores do que o observado na mata (T6), que apresentou os maiores valores.

Ao considerar as alterações promovidas pelas coberturas vegetais dentro da camada de 10-20 cm, observa-se que os valores de CTC_{ef} em T1 e T6 são estatisticamente iguais, bem como mais elevados do que nos demais revestimentos (T2, T3, T4 e T5). Este quadro, conforme já argumentado,

provavelmente está mais ligado ao comportamento dos animais em T1 (deposição irregular de excretas) do que propriamente ao efeito do pinus.

A seguir na TABELA 24 são apresentadas as estimativas para os contrastes mutuamente ortogonais para duas profundidades.

TABELA 24 Contrastes mutuamente ortogonais para variável capacidade de troca catiônica efetiva (CTC_{ef}) para as profundidades ¹(0-10cm) e ²(10-20 cm).

Variável	¹ CTC_{ef}	² CTC_{ef}	Efeitos testados
Contrastes	Estimativas		
C1	-2,91*	-0,58*	pisoteio X ausência de pisoteio
C2	-0,15 ^{n.s.}	-0,34 ^{n.s.}	braquiária X ausência de braquiária
C3	0,56*	0,40 ^{n.s.}	braquiária pura X braquiária consorciada
C4	0,97*	0,45 ^{n.s.}	pinus consorciado X eucalipto consorciado
C5	1,50*	0,75*	pinus X eucalipto

Estimativas significativas são indicadas pelo símbolo *, enquanto a sigla ^{n.s.} indica estimativas não significativas, ao nível de 5% pelo teste F.

Como era de se esperar, as alterações foram mais pronunciadas na camada de 0-10 cm, limitando-se a discussão à esta profundidade.

O contraste C1 indica que o pisoteio promoveu forte redução (quase 100%) da CTC_{ef} . Dentro dos subsistemas silvipastoris, o efeito promovido pela presença ou ausência de braquiária (C2) não promoveu modificações significativas, não havendo significado prático para o mesmo, ao contrário do observado para atributos físicos.

Para os ambientes que apresentavam extrato graminoso (T2, T3 e T4), nota-se que o consorciamento promove ligeira redução da CTC_{ef} , de acordo com a estimativa do contraste C3 ($Y_3=0,56$).

Ao confrontar as coberturas consorciadas (T3 e T4) através do contraste C4, percebe-se claramente que o consórcio com *Pinus tecunumanii* promove menores alterações do que com *Eucalyptus grandis*, apresentando o T3 uma unidade a mais na CTC_{ef}. Tal assertiva (maior impacto promovido pelo eucalipto) é confirmada pelo contraste C5, ao se comparar o efeito dessas espécies arbóreas em monocultivo ($Y_5 = 1,50$).

4.3.2.7 Capacidade de troca catiônica a pH7 (CTC_{pH7})

Determinações da capacidade de troca catiônica a diferentes pH nem sempre são adequados para se comparar o efeito promovido pelas coberturas vegetais, em razão da existência de cargas dependentes de pH nos solos tropicais. Portanto, há necessidade de padronização do potencial hidrogeniônico para se avaliar com maior acurácia as alterações na fertilidade potencial do solo, o que aqui se expressa pela determinação da CTC a pH7. Por meio da análise de variância (TABELA 5A) identificou-se diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade para a fonte de variação coberturas *versus* profundidades. Os resultados são apresentados na FIGURA 20 e, em geral, os valores encontrados para CTC_{pH7} são considerados médios de acordo com CFSEMG (1999). Apenas na mata (T6) o teor é classificado como alto para a camada de 0-10 cm.

Dentro da camada de 0-10 cm apenas T6 apresentou valor estatisticamente mais elevado do que as demais coberturas, devido aos maiores teores de MOS (TABELA 26) nesta cobertura. Apesar de não haver diferença significativa ao nível de 5% entre os subsistemas silvipastoris, é interessante observar que o T4 (eucalipto+braquiária) apresentou o menor resultado, fato merecedor de futuras e mais refinadas investigações.

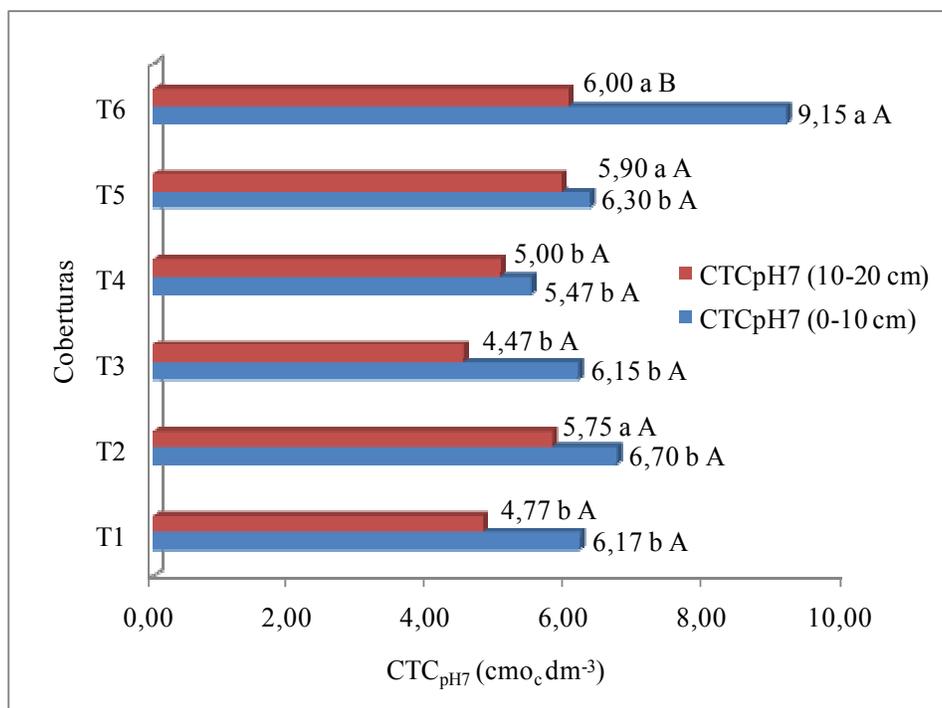


FIGURA 20 Capacidade de troca catiônica a pH7 para seis diferentes coberturas e duas profundidades. Médias seguidas por letras distintas, minúsculas ao se referirem a valores observados nas coberturas dentro de uma mesma profundidade, e maiúsculas ao se reportarem a valores entre as profundidades avaliadas dentro de uma mesma cobertura, diferem entre si pelo teste de Skott-Knott a 5% de significância.

Para a camada de 10-20 cm foram detectados teores mais baixos em T1, T3 e T4, sendo os mesmos considerados estatisticamente iguais pelo teste de Skott-Knott a 5% de significância. A seguir se apresentaram as coberturas T2, T5 e T6 com valores semelhantes. Numericamente foram identificados menores teores em coberturas de pinus (T1 e T3), fato provavelmente associado aos

menores teores de MOS identificados nesses revestimentos (TABELA 26) a esta profundidade de análise.

As alterações indesejáveis nos atributos de fertilidade no SSP (particularmente pH, Al^{3+} , Ca^{2+} e Mg^{2+} , SB e CTC_{ef}) foram mais severas em revestimentos de *Eucalyptus grandis*. No entanto, para CTC_{pH7} não se observou depleção nestas coberturas, o que denota o caráter de reversibilidade do impacto, bastando para tanto a adoção de práticas de calagem e fertilização.

A seguir são apresentadas as estimativas dos contrastes mutuamente ortogonais para as duas profundidades avaliadas para CTC_{pH7} na TABELA 25.

TABELA 25 Contrastes mutuamente ortogonais para variável capacidade de troca catiônica a pH7 (CTC_{pH7}) para duas profundidades $_1$ (0-10 cm) e $_2$ (10-20 cm).

Variável	$_1CTC_{pH7}$	$_2CTC_{pH7}$	Efeitos testados
Contrastes	Estimativas		
C1	-2,99*	-0,82 ^{n.s.}	pisoteio X ausência de pisoteio
C2	-0,12 ^{n.s.}	-0,26 ^{n.s.}	braquiária X ausência de braquiária
C3	0,88 ^{n.s.}	1,01*	Braquiária pura X braquiária consorc.
C4	0,67 ^{n.s.}	-0,52 ^{n.s.}	pinus consorciado X eucalipto consorc.
C5	0,12 ^{n.s.}	-1,12 ^{n.s.}	pinus X eucalipto

Estimativas significativas são indicadas pelo símbolo *, enquanto a sigla ^{n.s.} indica estimativas não significativas, ao nível de 5% pelo teste F.

O contraste C1 indica que os subsistemas silvipastoris levaram à redução da CTC_{pH7} para cerca de 2/3 do valor encontrado na condição natural, para a camada de 0-10 cm. Já para a profundidade de 10-20 cm não se observou efeito significativo causado pela ação antrópica.

As diferenças observadas dentro do SSP, ao se confrontar ambientes com ou sem gramíneas (C2), não foram significativas para as duas profundidades avaliadas.

Nos subsistemas silvipastoris revestidos por gramíneas, a adoção do consórcio (avaliada pelo contraste C3) com espécies arbóreas não promoveu alterações na camada de 0-10 cm. No entanto, para a camada de 10-20 cm, observa-se que a cobertura de braquiária conduzida em monocultivo ampliou significativamente a CTC_{pH7} em uma unidade, o que indica que esta cobertura pode promover melhorias na fertilidade potencial do solo em camadas mais profundas.

Os contrastes C4 e C5, considerando as duas camadas avaliadas, denotam que as alterações promovidas por *Pinus* sp ou *Eucalyptus* sp no atributo em discussão são estatisticamente iguais.

4.4 Matéria orgânica do solo (MOS)

Por meio da análise de variância (TABELA 5A) observaram-se diferenças significativas a 5% de probabilidade para as fontes de variação coberturas e profundidades. Os resultados obtidos para matéria orgânica do solo (MOS) nas distintas coberturas e profundidades avaliadas são apresentados na TABELA 26, sendo categorizados como médios de acordo com os padrões adotados pela CFSEMG (1999), considerando a média de 0-20 cm.

A análise estatística dos dados demonstra nítida diferenciação para os teores de MOS entre as camadas avaliadas, sendo a profundidade de 0-10 cm aquela que apresenta maiores valores em razão da deposição de resíduos e maior concentração de raízes.

TABELA 26 Matéria orgânica do solo em seis diferentes coberturas e duas profundidades

Cobertura	Profundidade (cm)		
	0-10	10-20	Média (0-20)
	.....MOS (dag kg ⁻¹).....		
T1	3,20	1,95	2,57 b
T2	3,40	2,20	2,80 b
T3	3,12	1,65	2,38 b
T4	3,05	2,30	2,67 b
T5	3,32	2,32	2,82 b
T6	4,97	2,82	3,90 a
Média (P)	3,51 A	2,20 B	
CV1(%)	22,76		
CV2(%)	15,63		

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem entre si pelo teste de Skott-Knott a 5% de significância.

Ao considerar os valores médios obtidos na camada de 0-20 cm percebe-se que apenas a mata (T6) apresentou maior teor de MOS, sendo as demais estatisticamente iguais pelo teste de Skott-Knott a 5% de significância. Redução significativa nos teores de carbono do solo em Argissolo Vermelho-Amarelo promovida por atividades antrópicas foi constatada por Portugal (2005) na camada de 0-10 cm, ao passo que nas demais camadas avaliadas (10-20 e 20-30 cm), o autor não observou diferenças marcantes.

Em Latossolo Vermelho distroférico localizado próximo à área deste estudo (Campus da UFPA) não se observou redução significativa nos teores de MOS em povoamentos florestais (eucalipto e pinus) e pastagem em relação a teores observados sob mata (Martins et al., 2002; Rangel & Silva, 2007), o que difere consideravelmente do observado neste estudo. Esta discrepância se deve às diferenças apresentadas por Latossolos e Argissolos, bem como às práticas de

manejo adotadas como se discutirá adiante. Como o Latossolo Vermelho distroférico ocupa posições mais estáveis da paisagem e apresenta maior permeabilidade à água, está menos sujeito a perdas de MOS por erosão. Por outro lado, o Argissolo Vermelho-Amarelo (avaliado por este estudo) ao ocupar posições de maior declividade e apresentar menor permeabilidade à água, devido a sua mineralogia caulínica e gradiente textural, está normalmente mais sujeito a perdas de solo por erosão laminar e conseqüentemente perdas de MOS.

Perdas de MOS motivadas por reflorestamentos de eucalipto e pinus (Alvarenga, 1996; Zinn, 1998; Araújo et al., 2007; Silva et al., 2009), são frequentemente atribuídas à baixa qualidade dos resíduos vegetais depositados por estas culturas, que dificultariam a incorporação de carbono ao solo. No entanto, observa-se relatos freqüentes de que os povoamentos florestais comerciais não alteram o teor de MOS (Davis & Condrón, 2002; Melo et al., 2004; Mafra et al., 2008)

No presente estudo verificou-se perdas elevadas dos teores originais de MOS, particularmente naquelas revestidas por *Pinus* (T1 e T3), sendo que em todas as coberturas presentes no sistema silvipastoril (SSP), observou-se teores significativamente menores de MOS do que o observado em vegetação nativa. Estas diferenças, além de motivadas pela classe de solo (Argissolo Vermelho-Amarelo) conforme já discutido, podem estar relacionadas às seguintes hipóteses:

1) como as coberturas presentes no SSP estão submetidas a pisoteio, há aumento das perdas de MOS por erosão laminar (nítida nas coberturas T1 e T5, ilustradas nas FIGURAS 9 e 10);

Mas a erosão laminar isoladamente não explica a redução nos níveis de MOS, uma vez que nos demais subsistemas silvipastoris T3 (pinus+braquiária) e T4 (eucalipto+braquiária) não se observaram evidências de erosão laminar,

apesar de ser possível que ao longo do tempo estes ambientes também promoveram perdas de solo e conseqüentemente perda de MOS.

2) a ocorrência de incêndios na área experimental constituída pelo SSP pode ser um fator que leva à perda de MOS;

A queima de pastagens normalmente não promove redução na MOS (Curi et al., 1994) mesmo após 100 anos de tal prática (Heringer et al., 2002), o que está provavelmente associada à rapidez da passagem do fogo (Rheinheimer et al., 2003) que é insuficiente para promover depleção da MOS. No entanto, acredita-se que houve incêndios de maior intensidade do que o normalmente verificado em área de pastagem, em razão do grande volume de serrapilheira das espécies florestais presentes na área experimental. A hipótese de redução da MOS na camada de 0-20 cm provocada pela queima parece improvável. Entretanto, a queima promove um efeito indireto ao reduzir a cobertura vegetal e expor o solo à maiores taxas de erosão, que por sua vez certamente conduzem à redução da MOS ou até mesmo à remoção das camadas superficiais. O fato de não se verificar redução da MOS em pastagens naturais submetidas à queima (conforme relatado no parágrafo anterior) pode estar relacionada ao maior tempo de equilíbrio destes ambientes. Ao considerar áreas de pastagens cultivadas deve-se lembrar que a perturbação promovida pelo preparo de solo rompe a dinâmica do carbono no solo, e estabelece novas relações, que certamente são mais facilmente alterada pela queima.

3) o preparo de solo convencional antecedente à implantação do SSP é um forte motivo para a perda de MOS;

A redução do teor de MOS em povoamentos de pinus e eucalipto pode estar mais fortemente associada ao preparo de solo antecedente à implantação dos reflorestamentos (Zinn, 1998), que ao romper os agregados do solo, promove rápida oxidação da fração orgânica do solo. Como área do SSP foi utilizada preteritamente sob cultivo convencional é possível que os níveis atuais

de MOS sejam reflexos das práticas pretéritas à implantação ambientes silvipastoris.

4)tempo de condução não é suficiente para a recuperação dos teores originais;

Períodos mais longos de condução de reflorestamentos de Eucalyptus tendem a promover a recuperação dos teores de MOS e podem variar de 14 anos (Zinn et al., 2008) a 25 anos (Gama-Rodrigues et al., 1997).

Acredita-se que a não recuperação dos teores de MOS nos subsistemas silvipastoris seja primariamente determinada pelas perdas promovidas pela erosão laminar, influenciadas pela classe de solo e agravadas pela compactação superficial e ocorrência de incêndios. Secundariamente é afetada pelo preparo de solo pretérito e pelo tempo de condução (15 anos).

Abaixo, na TABELA 27, são apresentadas as estimativas para os contrastes mutuamente ortogonais para a variável matéria orgânica do solo, considerando a profundidade de 0-20 cm.

TABELA 27 Contrastes mutuamente ortogonais para variável matéria orgânica do solo (MOS) para a profundidade de 0-20 cm

Variável	MOS	Efeitos testados
Contrastes	Estimativas	
C1	-1,24*	pisoteio X ausência de pisoteio
C2	-0,07 ^{n.s.}	braquiária X ausência de braquiária
C3	0,26 ^{n.s.}	braquiária X braquiária consorciada
C4	-0,28 ^{n.s.}	pinus consorciado X eucalipto consorc.
C5	-0,25 ^{n.s.}	pinus X eucalipto

Estimativas significativas são indicadas pelo símbolo *, enquanto a sigla ^{n.s.} indica estimativas não significativas, ao nível de 5% pelo teste F.

A estimativa do contraste C1 demonstra claramente que a atividade silvipastoril promoveu a redução da MOS para cerca de 2/3 do teor original, detectado em mata secundária. É interessante notar que a magnitude desta redução (2/3) foi a mesma detectada para a CTC_{pH7} na camada de 0-10 cm, para o mesmo contraste, o que comprova a forte dependência da CTC em solos tropicais ao teor de MOS.

Para os demais contrastes não foram observadas diferenças significativas, o que esclarece algumas dúvidas referentes à retenção de carbono no solo promovida por determinada vegetação. Pressupondo-se que os distintos ambientes silvipastoris avaliados por este estudo foram submetidos preteritamente, antes da implantação dos povoamentos florestais, às mesmas técnicas de preparo do solo e mais recentemente (últimos 15 anos) estavam sujeitos às mesmas práticas pecuárias, pisoteio continuado e queimadas regulares, pode-se concluir que até a data de realização deste estudo as distintas coberturas não tiveram qualquer efeito diferenciado na recuperação da MOS na camada superficial.

5 CONCLUSÕES

Ambientes silvipastoris apresentam quantidade de material vegetal sobre o solo semelhante ao observado em mata secundária e duas vezes maior do que em pastagem pura.

As propriedades físicas e de fertilidade do solo avaliadas são influenciadas tanto pela composição das espécies quanto pelo comportamento animal.

As alterações nos atributos físicos do solo promovidas pelo pisoteio animal são influenciadas pela composição (qualidade) da cobertura vegetal. A presença de gramíneas, mesmo em reduzida biomassa sob a copa das árvores, confere maior resiliência estrutural ao solo.

Os danos, compactação e erosão, foram mais severos na cobertura de pinus (T1) em razão da qualidade da serrapilheira (presença de material fino) e das alterações no índice de floculação e estabilidade de agregados promovidas por esta cobertura.

Redução drástica da fertilidade do solo foi observada sob coberturas de eucalipto (T4 e T5), enquanto sob pinus (T1) houve maior similaridade com a condição natural, resultado da menor imobilização de nutrientes provocado pelas árvores de pinus, e do comportamento dos animais em SSP.

Após 15 anos de condução, as coberturas pertencentes ao sistema silvipastoril não promoveram a recuperação dos teores originais de matéria orgânica do solo.

A adoção de SSP não é condição *sine qua nom* para se evitar a degradação física e química do solo, podendo até mesmo apresentar um risco adicional em algumas situações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, J. C. C. **Comportamento do *Eucalyptus citriodora* Hooker, em áreas pastejadas por bovinos e ovinos no Vale do Rio Doce, Minas Gerais.** 1990. 44 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

ALVARENGA, M. I. N. **Propriedades físicas, químicas e biológicas de um Latossolo Vermelho-Escuro em diferentes ecossistemas.** 1996. 211 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

AMARAL, G. **Características químicas e físicas de diferentes classes de solos da Zona Metalúrgica Mineira e produtividade do eucalipto.** 1999. 98 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição Mineral de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

ANDRADE, C. M. S.; GARCIA, R.; COUTO, L.; PEREIRA, O. G. Fatores limitantes ao crescimento do capim-tanzânia em um sistema agrossilvipastoril com eucalipto, na região dos Cerrados de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 30, n. 4, p. 1178-1185, jul. 2001.

ANDRADE, H. **Caracterização genética, morfológica e classificação de dois solos do município de Lavras- MG em correlação com a geomorfologia da área.** 1979. 84 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras.

ARAÚJO, Q. R. **Coberturas vegetais e propriedades de um Podzólico Vermelho-Amarelo na região Cacaueira da Bahia.** 1996. 70 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 5, p. 1099-1108, out. 2007.

ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V.; LIMA, W. P. Balanço dos nutrientes Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+1} , K^{+1} , NO_3^{-2} em bacia hidrográfica experimental com vegetação natural do parque estadual da Serra do Mar- Núcleo Cunha- SP. **IPEF**, Piracicaba, n. 31, p. 61-67, dez. 1985.

BAGGIO, A. J.; SCHREINER, H. G. Análise de um sistema silvipastoril com *Pinus elliottii* e gado de corte. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 16, p. 19-29, dez. 1988.

BARETTA, D.; SANTOS, J. C. P.; FIGUEIREDO, S. R.; KLAUBERG FILHO, O. Efeito do monocultivo de Pinus e da queima do campo nativo em atributos biológicos do solo no planalto Sul Catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 5, p. 715-724, out. 2005.

BERTOL, I.; ALMEIDA, J. A.; ALMEIDA, E. X.; KURTZ, C. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem de capim-elefante-anão cv. Mott. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 5, p. 1047-1054, maio 2000.

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis** - part. 1: physical and mineralogical methods. 2. ed. Madison: SSSA, 1986. p. 363-375.

BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; SEQUINATTO, L. Elasticidade do solo em função da umidade e do teor de carbono orgânico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 2, p. 477-485, mar./abr. 2008.

BRAZ, S. P.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. **Degradação de pastagens, matéria orgânica do solo e a recuperação do potencial produtivo em sistemas de baixo input tecnológico na região dos Cerrados**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2004. 8 p. (Circular Técnica, n. 9).

BRITO, L. F. **Erosão hídrica de Latossolo Vermelho Distrófico típico em área de pós-plantio de eucalipto na região de Guanhães (MG)**. 2004. 78 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

CARDOSO, P. C. **Avaliação da erosão pela mudança na superfície do solo em sistemas florestais**. 2003. 106 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

CARVALHO, M. M. **Importância da sombra natural em pastagens cultivadas**. Coronel Pacheco: EMBRAPA CNPGL, 2001. 2 p. (Instrução Técnica para o Produtor de leite, 24).

CARVALHO, S. R. **Influência de dois sistemas de manejo de pastagens na compactação de uma terra roxa estruturada**. 1976. 89 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

CAVALIERI, K. M. V.; SILVA, A. P.; ARVIDSSON, J.; TORMENA, C. A. Influência da carga mecânica de máquina sobre propriedades físicas de um Cambissolo Háplico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n. 3, p. 477-485, jun. 2009.

CHAVES, R. Q.; CORRÊA, G. F. Macronutrientes no sistema solo-Pinus caribaea Morelet em plantios apresentando amarelecimento das acículas e morte de plantas. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 5, p. 691-700, set. 2005.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: E. Blucher, 1974. 149 p.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: CFSEMG, 1999. 359 p.

CORAZZA, E. J.; SILVA, J. E.; RESK, D. V. S.; GOMES, A. C.
Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 2, p. 425-432, maio 1999.

CÓSER, A. C.; MARTINS, C. E.; FONTES, L. E. F.; BARROS, N. F.; SARAIVA, O. F. Efeito de diferentes coberturas vegetais sobre as características físicas e químicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo álico. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 37, n. 210, p. 167-176, mar. 1990.

COSTA, L. M. Manejo de solos em áreas reflorestadas. In: BARROS, N. F. de; NOVAIS, R. F. de (Ed.). **Relação solo-eucalipto**. Viçosa, MG: Folha de Viçosa, 1990. p. 237-264.

COSTA, P.; COSTA, M. I. S.; AMARAL, M. C.; MOURÃO JÚNIOR, M. Riqueza e distribuição vertical da macrofauna edáfica em diferentes sistemas de uso da terra em Roraima. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS SAF'S: DESENVOLVIMENTO COM PROTEÇÃO AMBIENTAL, 5., 2004, Curitiba. **Anais...** Colombo: Embrapa Florestas, 2004. p. 181-183.

CURI, N.; MARQUES, J. J. G. S. M.; GUEDES, G. A. A.; FERREIRA, M. M.; RIBEIRO, M. A. V.; GUALBERTO, V. Queima em pastagens nativas dos Campos da Mantiqueira (MG): alterações em parâmetros químicos dos solos. In: CARVALHO, M. M.; EVANGELISTA, A. R.; CURI, N. (Ed.). **Desenvolvimento de pastagens na zona fisiográfica Campos das Vertentes, MG**. Lavras: ESAL/EMBRAPA CNPGL, 1994. p. 45-50.

D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M. Atributos de agregação indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região dos cerrados no Sul do Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 26, n. 4, p. 1047-1054, nov. 2002.

DANIEL, O.; PASSOS, C. A. M.; COUTO, L. Sistemas agroflorestais (silvipastoris e agrossilvipastoris) na região do Centro-Oeste do Brasil: potencialidades, estado atual da pesquisa e da adoção de tecnologia. In: CARVALHO, M. M.; ALVIM, M. J.; CARNEIRO, J. C. (Ed). **Sistemas agroflorestais pecuários: opções de sustentabilidade para áreas tropicais e subtropicais**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2001. p. 151-164.

DANIELSON, R. E.; SUTHERLAND, P. L. Porosity. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis** – part. 1: physical and mineralogical methods. 2. ed. Madison: SSSA, 1986. p. 443-461.

DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G.; FERREIRA, E. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1862-1866, nov./dez. 2007.

DAVIS, M. R.; CONDRON, L. M. Impact of grassland afforestation on soil carbon in New Zealand: a review of paired-site studies. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 40, n. 4, p. 675-690, June 2002.

DELLA BRUNA, E. **A serapilheira do eucalipto: efeitos de componentes antibacterianos e de nutrientes na decomposição**. 1985. 52 p. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

DIAS-FILHO, M. B. Sistemas silvipastoris na recuperação de pastagens tropicais degradadas. In: SIMPÓSIO DA REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 43., 2006, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: SBZ/UFPB, 2006. p. 535-553.

DIAS, P. F.; SOUTO, S. M. Análise de fatores aplicada na avaliação da influência de leguminosas arbóreas, nas características químicas de solo sob pastagem. **Revista Universidade Rural**, Seropédica, v. 26, n. 1, p. 24-32, jan./jul. 2006.

DIAS, P. F.; SOUTO, S. M.; RESENDE, A. S.; FRANCO, A. A. **Leguminosas arbóreas:** influência na produção de fitomassa e nutrientes do capim survenola. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2005. 23 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 10).

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

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília: Embrapa Produção de Informação, 1999. 412 p.

FARIA, G. E.; BARROS, N. F. de; NOVAIS, R. F. de; SILVA, I. R. da; NEVES, J. C. L. Carbono orgânico total e frações da matéria orgânica do solo em diferentes distâncias do tronco de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 36, n. 80, p. 265-277, dez. 2008.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do SISVAR (Sistema para análise de variância) para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCAR, 2000. p. 255-258.

FERREIRA, E.; ROCHA, G. C.; BRAZ, S. P.; SOARES, J. C.; ANDRADE, F. A. A. Modelos estatísticos para o estudo da distribuição de excretas de bovinos em pastagens tropicais e sua importância na sustentabilidade desses sistemas. **Livestock Research for Rural Development**, Cali, v. 16, n. 9, set. 2004. Disponível em: <<http://www.lrrd.org/lrrd16/9/ferr16066.htm>>. Acesso em: 10 mar. 2009.

GAMA-RODRIGUES, A. C. **Ciclagem de nutrientes por espécies florestais em povoamentos puros e mistos, em solos de Tabuleiro da Bahia, Brasil.** 1997. 107 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; BARROS, N. F. Biomassa microbiana de carbono e de nitrogênio de solos sob diferentes coberturas florestais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 21, n. 3, p. 361-365, ago. 1997.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; PAULINO, G. M.; FRANCO, A. A. Atributos químicos e microbianos de solos sob diferentes coberturas vegetais no norte do Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 4, p. 1521-1530, ago. 2008.

GARAY, I.; KINDEL, A.; CARNEIRO, R.; FRANCO, A. A.; BARROS, E.; ABBADIE, L. Comparação da matéria orgânica e de outros atributos do solo entre plantações de *Acacia mangium* e *Eucalyptus grandis*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 4, p. 705-712, jul./ago. 2003.

GARCIA, R.; BERNARDINO, F. S.; GARCEZ NETO, A. F. Sistemas silvipastoris. In: EVANGELISTA, A. R.; AMARAL, P. N. C. do; PADOVANI, R. F.; TAVARES, V. B.; SALVADOR, F. M.; PERÓN, A. J. (Org.). **Forragicultura e pastagens: temas em evidência**. Lavras: UFLA, 2005. p. 1-64.

HERINGER, I.; JACQUES, A. V. Á. Nutrientes no mantilho em pastagem nativa sob distintos manejos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 5, p. 841-847, set./out. 2002.

HERINGER, I.; JACQUES, A. V. Á.; BISSANI, C. A.; TEDESCO, M. Características de um Latossolo Vermelho sob pastagem natural sujeita à ação prolongada do fogo e de práticas alternativas de manejo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 2, p. 309-314, mar. 2002.

IBRAHIM, M.; CAMARGO, J. C. Produtividade e serviços ambientais de sistemas silvipastoris: experiências do Catie. In: CARVALHO, M. M.; ALVIM, M. J.; CARNEIRO, J. C. (Ed.). **Sistemas agroflorestais pecuários: opções de sustentabilidade para áreas tropicais e subtropicais**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite; Brasília: FAO, 2001. p. 331-347.

INÁCIO, E. S. B.; CANTALICE, J. R. B.; NACIF, P. G. S.; ARAÚJO, Q. R.; BARRETO, A. C. Quantificação da erosão em pastagem com diferentes declives na microbacia do Ribeirão Salomea. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 4, p. 355-360, jul./ago. 2007.

JESUS, E. A. **Caracterização da matéria orgânica como subsídio ao estudo da formação de horizonte superficial em solos sob cultivo mínimo de eucalipto**. 2009. 54 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis** – part. 1: physical and mineralogical methods. 2. ed. Madison: SSSA, 1986. p. 425-441.

KOLM, L. **Ciclagem de nutrientes e variações no microclima em plantações de Eucalyptus grandis Hill ex Maiden manejadas através de desbastes progressivos**. 2001. 88 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

KONDO, M. K.; DIAS JÚNIOR, M. S. Compressibilidade de três Latossolos em função da umidade e uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 2, p. 211-218, maio 1999.

LA TORRACA, S. M.; HAAG, H. P.; MIGLIORINI, A. J. Recrutamento e exportação de nutrientes por *Pinus elliottii* var. *elliottii* em um Latossolo Vermelho escuro na região de Agudos, SP. **IPEF**, Piracicaba, n. 27, p. 41-47, ago. 1984.

LEPSCH, I. F. Influência do cultivo de *Eucalyptus* e *Pinus* nas propriedades químicas de solos sob cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 4, n. 2, p. 103-107, maio/ago. 1980.

LIMA, P. M. P. **Erodibilidade entressulcos em solos com B textural e B latossólico do município de Lavras-MG**. 1999. 128 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

LIMA, W. P.; ZAKIA, M. J. B.; LIBARDI, P. L.; SOUZA FILHO, A. P. Comparative evapotranspiration of eucalyptus, pine and natural “cerrado” vegetation measure by the soil water balance method. **IPEF International**, Piracicaba, n. 1, p. 5-11, jan. 1990.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. Fertilidade do solo e produtividade agrícola. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 1-64.

LOPES, M. I. M. S. **Influência do cultivo de Pinus sobre algumas características de um Latossolo Vermelho-escuro primitivamente sob vegetação de cerrado**. 1983. 90 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

LUZ, P. H. C.; HERLING, V. R. Impactos do pastejo sobre as propriedades físicas do solo. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO ESTRATÉGICO DA PASTAGEM, 2., 2004, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG: UFV/DZO, 2004. p. 209-250.

MAFRA, A. L.; GUEDES, S. F. F.; KLAUBERG FILHO, O.; SANTOS, J. C. P.; ALMEIDA, J. A.; ROSA, J. D. Carbono orgânico e atributos químicos do solo em áreas florestais. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 32, n. 2, p. 217-224, mar./abr. 2008.

MARTINS, S. G. **Erosão hídrica em sistemas florestais nos Tabuleiros Costeiros na Região de Aracruz-ES: primeira aproximação**. 2001. 59 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

MARTINS, S. G.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; FERREIRA, M. M. Avaliação de atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes povoamentos florestais. **Cerne**, Lavras, v. 8, n. 1, p. 32-41, jan. 2002.

MELO, J. T.; RESK, D. V. S.; GOMES, A. C. **Efeito de procedências de *Eucalyptus camaldulensis* sobre os teores de nutrientes e de carbono orgânico do solo no cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 142).

MORAES, L. C. S. **Código florestal comentado**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

NAIR, V. D.; HAILES, S. G.; MICHEL, G. A.; NAIR, P. K. R. Environmental quality improvement of agricultural lands through silvopasture in southeastern United States. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 64, n. 5, p. 513-519, set./out. 2007.

NEVES, C. M. N. das. **Atributos indicadores da qualidade do solo em sistema agrossilvopastoril, no noroeste do Estado de Minas Gerais**. 2002. 87 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

NEVES, C. M. N. das; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; MACEDO, R. L. G.; TOKURA, A. M. Estoque de carbono em sistemas agrossilvopastoril, pastagem e eucalipto sob cultivo convencional na região noroeste do Estado de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 5, p. 1038-1046, set./out. 2004.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 471-550.

NUMATA, I.; SOARES, J. V.; LEÔNIDAS, F. C. Comparação da fertilidade de solos em Rondônia com diferentes tempos de conversão de floresta em pastagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 26, n. 4, p. 949-955, nov. 2002.

OLIVEIRA, T. K.; MACEDO, R. L. G.; SANTOS, P. A. dos;
HIGASHIKAWA, E. M.; VENTURIN, N. Produtividade de *Brachiaria
brizantha* (Hochst. Ex A. Rich.) Stapf cv. Marandu sob diferentes arranjos
estruturais de sistema agrossilvipastoril com eucalipto. **Ciência e
Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 3, p. 748-757, maio/jun. 2007.

PACIULLO, D. S. C.; CARVALHO, C. A. B.; AROEIRA, L. J. M.; MORENZ,
M. J. F.; LOPES, F. C. F.; ROSSIELLO, R. O. P. Morfofisiologia e valor
nutritivo do capim-braquiária sob sombreamento natural e a sol pleno. **Pesquisa
Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 4, p. 573-579, abr. 2007.

PÉREZ, C. A.; GOYA, J. F.; BIANCHIANI, F.; FRANGI, J. L.; FERNÁNDEZ,
R. Productividade aérea y ciclo de nutrientes en plantaciones de *Pinus taeda* L.
em el Norte de la Provincia de Misiones, Argentina. **Interciencia**, Caracas, v.
31, n. 11, p. 794-801, nov. 2006.

PÉREZ, D. V.; SIMÃO, S. M.; SALATINO, A. Identificação e caracterização
da repelência à água em alguns solos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência
do Solo**, Viçosa, MG, v. 22, n. 2, p. 197-207, maio 1998.

PINTO, L. F. G. **Avaliação do cultivo de cana-de-açúcar em sistemas
agroflorestais em Piracicaba, SP**. 2002. 125 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia)
- Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

PIRES, L. S. **Sistemas de manejo de eucalipto e erosão hídrica em Latossolo
Vermelho muito argiloso na região de Belo Oriente (MG)**. 2004. 84 p.
Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal
de Lavras, Lavras.

POGGIANI, F. Nutrient cycling in Eucalyptus and Pinus plantations
ecosystems: silvicultural implications. **IPEF**, Piracicaba, n. 31, p. 33-40, dez.
1985.

POGGIANI, F.; COUTO, H. T. Z.; CORRADINI, L.; FAZZIO, E. C. M. Exportação de biomassa e nutrientes através da exploração dos troncos e das copas de um povoamento de *Eucalyptus saligna*. **IPEF**, Piracicaba, n. 25, p. 37-39, dez. 1983.

POGGIANI, F.; ZEN, S.; MENDES, F. S.; SPINA-FRANÇA, F. Ciclagem e exportação de nutrientes em florestas para fins energéticos. **IPEF**, Piracicaba, n. 27, p. 17-30, ago. 1984.

POLLA, M. C. Sistemas silvipastoris no Uruguai. In: CARVALHO, M. M.; ALVIM, M. J.; CARNEIRO, J. C. (Ed.). **Sistemas agroflorestais pecuários: opções de sustentabilidade para áreas tropicais e subtropicais**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite; Brasília: FAO, 2001. p. 285-301.

PORTUGAL, A. F. **Resiliência da estrutura em Argissolo sob diferentes usos, na Zona da Mata de Minas Gerais**. 2005. 102 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

PRADO, R. M.; NATALE, W. Alterações na granulometria, grau de floculação e propriedades químicas de um Latossolo Vermelho distrófico, sob plantio direto e reflorestamento. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 25, n. 1, p. 45-52, abr. 2003.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A. Estoque 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, nov./dez. 2007.

RESENDE, M.; CURTI, N.; SANTANA, D. P. **Pedologia e fertilidade do solo: interações e aplicações**. Brasília: MEC; Lavras: ESAL; Piracicaba: POTAFOS, 1988. 81 p.

RHEINHEIMER, D. S.; SANTOS, J. C. P.; FERNANDES, V. B. F.; MAFRA, A. L.; ALMEIDA, J. A. Modificações nos atributos químicos de solo sob campo nativo submetido à queima. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 1, p. 49-55, jan. 2003.

ROCHA, G. C. **Geologia, geomorfologia e pedologia de uma catena de solos situada no campus da Escola Superior de Agricultura de Lavras, MG.** 1982. 109 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras.

SANTOS, D. **Perdas de solo e produtividade de pastagens nativas melhoradas sob diferentes práticas de manejo em Cambissolo Distrófico (epialóico) dos Campos da Mantiqueira (MG).** 1993. 99 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras.

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. **Manual de descrição e coleta de solos no campo.** 5. ed. rev. e ampl. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 100 p.

SCHREINER, H. G. Viabilidade de um sistema silvipastoril em solos de areia quartzosa no Estado de São Paulo. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 17, p. 33-38, dez. 1988.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n. 1, p. 113-117, fev. 1997.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo.** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 275-374.

SILVA, J. M. S. **Estudo silvicultural e econômico do consórcio de *Eucalyptus grandis* com gramíneas sob diferentes espaçamentos em áreas acidentadas.** 1999. 115 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SILVA, L. G.; MENDES, I. C. M.; REIS JÚNIOR, 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, v. 44, n. 6, p. 613-620, jun. 2009.

SILVA, R. G. Predição da configuração de sombras de árvores em pastagens para bovinos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n.1, p. 268-281, jan./abr. 2006.

SILVA, S. R. **Crescimento de eucalipto influenciado pela compactação de solos e doses de fósforo e de potássio**. 2000. 97 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, n. 1, p. 191-199, jan./mar. 2000.

SOCA, M.; SIMÓN, L.; SOCA, M.; ROCHE, Y.; AGUILAR, A. Los árboles, su papel en la descomposición de las excretas de bovinos jóvenes y en el desarrollo de la macrofauna edáfica en sistemas silvopastoriles en Cuba. In: VILCAHUAMÁM, L. J. M.; RIBASKI, J.; MACHADO, A. M. B. (Ed.). **Sistemas agroflorestais e desenvolvimento com proteção ambiental: práticas e tecnologias desenvolvidas**. Colombo: Embrapa Florestas, 2006. p. 135-149.

SODRÉ, G. A. **Qualidade de manta orgânica de mata natural, capoeira, pastagem e plantios de eucalipto no Sudeste da Bahia**. 1999. 80 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SOUSA, L. F.; MAURÍCIO, R. M.; GONÇALVES, L. C.; SALIBA, E. O. S.; MOREIRA, G. R. Produtividade e valor nutritivo de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em um sistema silvipastoril. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 59, n. 4, p. 1029-1037, ago. 2007.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, n. 3, p. 229-235, out. 1991.

STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V. L. **Recomendação para o uso do penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar-Stolf**. Piracicaba: IAA/PLANALSUCAR, 1983. 9 p. (Boletim, n.1).

VENDRAMINI, J. M. B.; SILVEIRA, M. L. A.; DUBEAUX JÚNIOR, J. C. B.; SOLLENBERGER, L. E. Environmental impacts and nutrient recycling on pastures grazed by cattle. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 36, p. 139-149, jul. 2007. Suplemento.

VIEIRA, S. A. **Efeito das plantações florestais (*Eucalyptus* sp.) sobre a dinâmica de nutrientes em região de cerrado do Estado de São Paulo**. 1998. 73 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

ZINN, Y. L. **Caracterização de propriedades físicas, químicas e da matéria orgânica de solos nos cerrados sob plantações de *Eucalyptus* e *Pinus***. 1998. 85 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de Brasília, Brasília.

ZINN, Y. L.; RESCK, D. V. S.; LAL, R. Carbono orgânico em solos do cerrado: efeito da textura e plantio de eucalipto. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 17., 2008, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBCS, 2008. 1 CD-ROM.

ZINN, Y. L.; RESCK, D. V. S.; SILVA, J. E. Soil organic carbon as affected by afforestation with *Eucalyptus* and *Pinus* in the Cerrado region of Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 166, n. 1/3, p. 285-294, Aug. 2002.

ANEXOS

	Página	
TABELA 1A	Descrição morfológica de perfil de Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico (Lima, 1999), situado próximo ao local em estudo.....	127
TABELA 2A	Características químicas do perfil de Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico (Lima, 1999), situado próximo ao local em estudo.....	128
TABELA 3A	Características físicas e mineralógicas do perfil de Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico (Lima, 1999), situado próximo ao local em estudo.....	128
TABELA 4A	Resumo da análise de variância para atributos físicos do solo para seis coberturas e duas profundidades.....	129
TABELA 5A	Resumo da análise de variância para atributos de fertilidade do solo para seis coberturas e duas profundidades.....	131
TABELA 6A	Atributos físicos do solo em seis coberturas, duas profundidades e quatro repetições em Argissolo Vermelho – Amarelo.....	133
TABELA 7A	Atributos de fertilidade em seis coberturas, duas profundidades e quatro repetições em Argissolo Vermelho – Amarelo.....	136

TABELA 1 A Descrição morfológica de perfil de Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico (Lima, 1999), situado próximo ao local em estudo

<p>A₁ – 0-25 cm, vermelho-amarelo (5 YR – 5/6 seco), vermelho-amarelo (5 YR – 4/6 úmido), argilo-arenoso, moderado, média, granular, poros pequenos e comuns, cerosidade moderada, ligeiramente duro, friável, ligeiramente plástico, não pegajoso, transição gradual e plana, raízes comuns.</p>
<p>A_B – 25-45 cm, vermelho-amarelo (5 YR – 6/6 seco), vermelho-amarelo (5 YR – 5/8 úmido), argila, médio a grande, blocos subangulares, poros pequenos a muitos, cerosidade moderada, ligeiramente duro, friável, não plástico, não pegajoso, transição gradual e plana, raízes comuns.</p>
<p>B_{t1} – 45-85 cm, vermelho (2,5 YR – 7/6 seco), vermelho (2,5 YR – 5/6 úmido), argila, moderado, pequenas a grande, blocos subangulares, poros pequenos a comuns, cerosidade moderada, friável, ligeiramente pegajoso, a não pegajoso, transição gradual e plana.</p>
<p>B_{t2} – 85-120 cm, vermelho-amarelo (5 YR – 7/6 seco), vermelho-amarelo (5 YR – 5/8 úmido), muito argiloso, fraca, muito pequena a pequena, prismática, cerosidade fraca, poros muito pequenos e muitos, poros pequenos a comuns, macio, ligeiramente plástico, não pegajoso, transição gradual e plana.</p>
<p>B₃ – 120-155 cm +, vermelho-amarelo (5 YR – 7/6 seco), vermelho-amarelo (7,5 YR – 5/8 úmido), argila, fraca, pequena a média, blocos subangulares, poros pequenos e comuns, macio, muito friável, ligeiramente plástico, não pegajoso, transição gradual e plana.</p>

TABELA 2A Características químicas do perfil de Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico (Lima, 1999), situado próximo ao local em estudo

Prof. (cm)	pH _{H2O}	pH _{KCl}	ΔpH	P	Ca ²⁺ + Mg ²⁺	K ⁺	SB	CTC _{ef}	H+Al	Al ³⁺	V	CO
				mg dm ⁻³	.....cmol _c dm ⁻³						%	g kg ⁻¹
0-25	7,00	6,10	0,90	2,00	5,40	0,03	5,43	5,63	5,60	0,20	49,2	10,5
25-40	5,50	4,80	0,70	1,00	2,20	0,02	2,22	2,42	4,30	0,20	34,1	6,0
40-90	5,90	5,50	0,40	1,00	2,00	0,01	2,02	2,22	2,60	0,20	43,7	4,5
90-150	5,90	6,00	0,10	1,00	1,40	0,01	1,41	1,61	2,00	0,20	41,3	3,0
120-150+	5,80	6,40	0,60	1,00	1,20	0,01	1,22	1,40	1,30	0,20	48,4	3,0

TABELA 3 A Características físicas e mineralógicas do perfil de Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico (Lima, 1999), situado próximo ao local em estudo

Prof. (cm)	ar. grossa	ar. fina	silte	argila	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	Ki	Kr
	.....g kg ⁻¹%.....						
0-25	205,0	235,0	66,0	494,0	16,82	19,89	9,20	1,15	0,10	1,44	1,11
25-40	138,0	202,0	16,0	644,0	20,00	26,26	10,50	1,15	0,05	1,29	1,03
40-90	143,0	157,0	66,0	634,0	15,96	18,87	7,00	0,73	0,08	1,44	1,16
90-150	108,0	192,0	56,0	644,0	17,88	25,75	9,40	0,93	0,03	1,18	0,96
120-150+	132,0	228,0	56,0	584,0	17,24	25,24	9,00	0,94	0,03	1,16	0,95

TABELA 4 A Resumo da análise de variância para atributos físicos do solo para seis coberturas e duas profundidades

Atributos	G.L.	Valor F	P>Fc
A.D.A.			
Cobertura(C)	5	2,327	0,0852 ^{n.s.}
Profundidade (P)	1	16,035	0,0008*
C x P	5	1,238	0,3324 ^{n.s.}
CV1(%)	15,52		
CV2 (%)	13,71		
I.F.			
Cobertura(C)	5	23,509	0,0000*
Profundidade (P)	1	1,887	0,1864 ^{n.s.}
C x P	5	1,187	0,3541 ^{n.s.}
CV1(%)	9,11		
CV2 (%)	12,35		
Ds			
Cobertura(C)	5	6,035	0,0019*
Profundidade (P)	1	9,763	0,0059*
C x P	5	1,101	0,3941 ^{n.s.}
CV1(%)	4,31		
CV2 (%)	3,72		
VTP			
Cobertura(C)	5	6,353	0,0014*
Profundidade (P)	1	4,309	0,0525 ^{n.s.}
C x P	5	1,008	0,4412 ^{n.s.}
CV1(%)	5,18		
CV2 (%)	4,63		

TABELA 4 A, Cont.

Macroporosidade			
Cobertura(C)	5	0,727	0,6123 ^{n.s.}
Profundidade (P)	1	1,679	0,2114 ^{n.s.}
C x P	5	1,600	0,2107 ^{n.s.}
CV1(%)	36,18		
CV2 (%)	20,32		
Microporosidade			
Cobertura(C)	5	4,513	0,0077*
Profundidade (P)	1	41,024	0,0000*
C x P	5	1,076	0,4065 ^{n.s.}
CV1(%)	6,39		
CV2 (%)	3,05		
Ks			
Cobertura(C)	5	0,830	0,5548 ^{n.s.}
Profundidade (P)	1	1,882	0,1870 ^{n.s.}
C x P	5	0,426	0,8245 ^{n.s.}
CV1(%)	175,25		
CV2 (%)	165,17		
DMG			
Cobertura(C)	5	3,533	0,0212*
Profundidade (P)	1	0,249	0,624 ^{n.s.}
C x P	5	5,832	0,0002*
CV1(%)	14,62		
CV2 (%)	8,89		

^{n.s.}-não significativo a 5%; *-significativo a 5%

TABELA 5 A Resumo da análise de variância para atributos de fertilidade do solo para seis coberturas e duas profundidades

Atributos	G.L.	Valor F	P>Fc
pH			
Cobertura(C)	5	24,463	0,0000*
Profundidade (P)	1	15,783	0,0009*
C x P	5	2,009	0,1261 ^{n.s.}
CV1(%)	2,77		
CV2 (%)	1,49		
H + Al			
Cobertura(C)	5	16,552	0,0000*
Profundidade (P)	1	1,158	0,2961 ^{n.s.}
C x P	5	0,628	0,6807 ^{n.s.}
CV1(%)	15,09		
CV2 (%)	12,23		
Al³⁺			
Cobertura(C)	5	39,217	0,0000*
Profundidade (P)	1	29,288	0,0000*
C x P	5	1,281	0,3148 ^{n.s.}
CV1(%)	25,67		
CV2 (%)	18,07		
Ca²⁺			
Cobertura(C)	5	35704,000	0,0000*
Profundidade (P)	1	104,716	0,0000*
C x P	5	15,979	0,0000*
CV1(%)	39,21		
CV2 (%)	27,03		
Mg²⁺			
Cobertura(C)	5	13,494	0,0000*
Profundidade (P)	1	73,286	0,0000*
C x P	5	5,671	0,0026*
CV1(%)	50,83		
CV2 (%)	25,49		

...continua...

K ⁺			
Cobertura(C)	5	3,212	0,0302*
Profundidade (P)	1	18,925	0,0004*
C x P	5	2,012	0,1256 ^{n.s.}
CV1(%)	69,31		
CV2 (%)	27,77		
<hr/>			
SB			
Cobertura(C)	5	29,939	0,0000*
Profundidade (P)	1	111,587	0,0000*
C x P	5	14,319	0,0000*
CV1(%)	39,18		
CV2 (%)	24,08		
<hr/>			
CTC _{ef}			
Cobertura(C)	5	21,004	0,0000*
Profundidade (P)	1	74,194	0,0000*
C x P	5	12,960	0,0000*
CV1(%)	22,89		
CV2 (%)	17,07		
<hr/>			
CTC _{pH7}			
Cobertura(C)	5	0,714	0,0008*
Profundidade (P)	1	35,614	0,0000*
C x P	5	3,413	0,0241*
CV1(%)	15,56		
CV2 (%)	13,01		
<hr/>			
P			
Cobertura(C)	5	2,616	0,0601 ^{n.s.}
Profundidade (P)	1	21,382	0,0002*
C x P	5	1,433	0,2602 ^{n.s.}
CV1(%)	29,60		
CV2 (%)	19,98		

...continua...

M.O.			
Cobertura(C)	5	5,380	0,0034*
Profundidade (P)	1	102,086	0,0000*
C x P	5	2,317	0,0862 ^{n.s.}
CV1(%)	22,76		
CV2 (%)	15,63		

TABELA 6 A Atributos físicos do solo em seis coberturas, duas profundidades e quatro repetições em Argissolo Vermelho Amarelo

Atributos físicos			Ar. grossa	Ar. fina	Silte	Argila	ADA	IF	VTP	Macro	Micro	D _s	D _p	K _s
Trat.	Prof.	Rep.	.....g kg ⁻¹.....			%	.....m ³ m ⁻³		kg dm ⁻³	mm h ⁻¹				
T1	1	1	480	110	110	300	180	40,0	0,42	0,06	0,35	1,38	2,60	32,7
T1	1	2	420	120	120	340	220	35,3	0,42	0,10	0,31	1,45	2,53	50,7
T1	1	3	410	120	120	350	220	42,4	0,43	0,08	0,35	1,42	2,56	13,1
T1	1	4	430	120	130	320	180	34,4	0,42	0,05	0,37	1,45	2,50	57,7
T1	2	1	430	100	130	340	220	35,3	0,40	0,07	0,33	1,49	2,50	5,9
T1	2	2	470	100	100	330	190	42,4	0,44	0,14	0,30	1,43	2,56	38,0
T1	2	3	460	120	100	320	210	34,4	0,46	0,15	0,31	1,37	2,41	24,8
T1	2	4	410	110	120	360	180	50,0	0,41	0,06	0,34	1,47	2,56	0,6
T2	1	1	480	80	100	340	180	47,1	0,45	0,06	0,38	1,35	2,56	18,0
T2	1	2	490	90	100	320	160	50,0	0,49	0,09	0,40	1,24	2,53	38,4
T2	1	3	490	80	110	320	160	50,0	0,46	0,09	0,37	1,33	2,50	32,5
T2	1	4	540	70	90	300	160	46,7	0,47	0,11	0,36	1,28	2,53	141,1
T2	2	1	310	80	140	470	260	44,7	0,46	0,08	0,37	1,33	2,44	23,7
T2	2	2	450	90	100	360	220	38,9	0,43	0,08	0,35	1,40	2,53	7,7
T2	2	3	400	80	100	420	220	47,6	0,43	0,06	0,37	1,39	2,44	33,5
T2	2	4	520	70	110	300	120	60,0	0,47	0,13	0,33	1,37	2,53	38,0

Tratamentos: T1 (pinus); T2 (braquiária); T3 (pinus + braquiária); T4 (eucalipto + braquiária); T5 (eucalipto); T6 (mata). Profundidades: 1 (0-10 cm); 2 (10-20 cm). Repetições: n = 4

...continua...

TABELA 6 A, Cont.

Atributos físicos			Ar. grossa	Ar. fina	Silte	Argila	ADA	IF	VTP	Macro	Micro	D _s	D _p	K _s
Trat.	Prof.	Rep.	g kg ⁻¹					%	m ³ m ⁻³		kg dm ⁻³		mm h ⁻¹	
T3	1	1	490	60	110	340	200	41,2	0,42	0,06	0,35	1,45	2,56	7,4
T3	1	2	460	50	140	350	200	42,9	0,49	0,12	0,36	1,31	2,56	24,8
T3	1	3	420	40	200	340	200	41,2	0,51	0,13	0,37	1,22	2,56	28,6
T3	1	4	330	80	180	410	240	41,5	0,48	0,08	0,40	1,27	2,56	152,1
T3	2	1	430	60	140	370	220	40,5	0,45	0,08	0,36	1,39	2,50	29,2
T3	2	2	460	60	110	370	220	40,5	0,48	0,14	0,34	1,39	2,44	6,0
T3	2	3	290	70	220	420	240	42,9	0,49	0,13	0,35	1,28	2,47	83,2
T3	2	4	270	80	210	440	250	43,2	0,50	0,11	0,39	1,28	2,44	14,1
T4	1	1	360	120	100	420	190	54,8	0,45	0,07	0,38	1,37	2,53	33,7
T4	1	2	340	110	120	430	150	65,1	0,45	0,07	0,38	1,35	2,56	32,2
T4	1	3	370	110	120	400	150	61,5	0,51	0,13	0,37	1,22	2,53	47,0
T4	1	4	390	100	110	400	190	50,0	0,48	0,10	0,38	1,29	2,50	23,1
T4	2	1	330	120	130	420	190	54,8	0,46	0,08	0,37	1,34	2,53	13,0
T4	2	2	340	120	120	420	210	50,0	0,47	0,09	0,37	1,36	2,56	18,7
T4	2	3	340	120	120	420	190	54,8	0,45	0,09	0,35	1,37	2,53	18,3
T4	2	4	320	130	130	420	190	57,8	0,46	0,11	0,35	1,29	2,50	18,6

Tratamentos: T1 (pinus); T2 (braquiária); T3 (pinus + braquiária); T4 (eucalipto + braquiária); T5 (eucalipto); T6 (mata).

Profundidades: 1 (0-10 cm); 2 (10-20 cm). Repetições: n = 4

...continua...

TABELA 6 A, Cont.

Atributos físicos			Ar. grossa	Ar. fina	Silte	Argila	ADA	IF	VTP	Macro	Micro	D _s	D _p	K _s
Trat.	Prof.	Rep.	.....g kg ⁻¹.....				%	.....m ³ m ⁻³				kg dm ⁻³	mm h ⁻¹	
T5	1	1	390	100	140	370	170	54,1	0,45	0,08	0,37	1,41	2,60	9,6
T5	1	2	440	110	90	360	130	62,9	0,50	0,11	0,39	1,27	2,50	4,9
T5	1	3	430	120	110	340	150	55,9	0,52	0,16	0,36	1,30	2,53	31,3
T5	1	4	370	100	130	400	210	48,8	0,46	0,09	0,37	1,36	2,47	22,1
T5	2	1	350	100	120	430	190	54,8	0,47	0,13	0,34	1,32	2,53	19,0
T5	2	2	370	100	100	430	170	60,5	0,47	0,12	0,34	1,36	2,53	48,3
T5	2	3	360	110	120	410	210	50,0	0,45	0,11	0,33	1,38	2,53	15,3
T5	2	4	330	110	130	430	220	48,8	0,47	0,13	0,34	1,36	2,50	33,5
T6	1	1	380	120	120	380	130	63,9	0,51	0,13	0,38	1,17	2,50	449,8
T6	1	2	320	120	150	410	170	57,5	0,51	0,11	0,40	1,22	2,41	16,6
T6	1	3	260	100	140	500	140	72,0	0,50	0,11	0,39	1,24	2,50	32,2
T6	1	4	320	120	120	440	160	59,0	0,50	0,08	0,42	1,28	2,56	8,9
T6	2	1	300	120	150	430	210	54,4	0,47	0,12	0,35	1,32	2,53	56,0
T6	2	2	350	100	160	390	160	59,0	0,46	0,05	0,41	1,36	2,41	12,3
T6	2	3	270	100	180	450	260	46,9	0,50	0,12	0,38	1,29	2,53	103,4
T6	2	4	320	120	140	420	220	47,6	0,45	0,06	0,39	1,37	2,53	2,5

Tratamentos: T1 (pinus); T2 (braquiária); T3 (pinus + braquiária); T4 (eucalipto + braquiária); T5 (eucalipto); T6 (mata). Profundidades: 1 (0-10 cm); 2 (10-20 cm). Repetições: n = 4

TABELA 7 A Atributos de fertilidade em seis coberturas, duas profundidades e quatro repetições em Argissolo Vermelho-Amarelo

Atributos de fertilidade			pH	Al ³⁺	(H+Al)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	SB	CTC _{ef}	CTC _{pH7}	V	P	P _{rem}	MO
Trat.	Prof.	Rep.	.....cmol _c dm ⁻³									%	mg dm ⁻³	dag kg ⁻¹	
T1	1	1	5,9	0,1	3,2	2,7	0,9	0,2	3,8	3,9	7,0	54,5	2,5	32,6	3,7
T1	1	2	5,6	0,2	2,9	1,7	0,4	0,1	2,2	2,4	5,1	43,0	1,7	34,5	2,6
T1	1	3	5,6	0,3	3,2	1,5	0,5	0,2	2,2	2,5	5,4	40,9	1,2	34,5	2,5
T1	1	4	5,7	0,2	3,6	2,6	0,8	0,2	3,6	3,8	7,2	50,0	2,3	35,5	4,0
T1	2	1	5,8	0,1	2,6	1,7	0,5	0,2	2,4	2,5	5,0	47,7	1,4	34,5	2,1
T1	2	2	5,6	0,3	2,9	1,8	0,4	0,1	2,3	2,6	5,2	43,8	1,2	36,5	2,0
T1	2	3	5,6	0,4	2,9	1,2	0,3	0,2	1,7	2,1	4,6	36,4	1,2	33,5	1,9
T1	2	4	5,5	0,3	2,6	1,2	0,4	0,1	1,7	2,0	4,3	40,1	1,2	34,5	1,8
T2	1	1	5,6	0,5	4,5	2,1	0,7	0,1	2,9	3,4	7,4	39,3	1,2	29,0	3,4
T2	1	2	5,5	0,5	4,0	1,0	0,5	0,1	1,6	2,1	5,6	28,3	1,4	31,6	3,4
T2	1	3	5,4	0,8	4,5	0,9	0,2	0,1	1,2	2,0	5,7	20,8	1,2	27,2	3,0
T2	1	4	5,3	1,2	6,3	1,0	0,7	0,1	1,8	3,0	8,1	22,6	1,4	27,2	3,8
T2	2	1	5,3	1,1	5,0	0,7	0,4	0,1	1,2	2,3	6,2	19,0	1,2	28,1	2,7
T2	2	2	5,4	1,0	4,5	0,6	0,1	0,0	0,7	1,7	5,2	14,1	0,9	28,1	2,2
T2	2	3	5,3	1,2	5,6	0,3	0,1	0,0	0,4	1,6	6,0	7,3	1,2	25,6	2,0
T2	2	4	5,2	1,2	5,0	0,1	0,4	0,1	0,6	1,8	5,6	10,4	0,9	28,1	1,9

Tratamentos: T1 (pinus); T2 (braquiária); T3 (pinus + braquiária); T4 (eucalipto + braquiária); T5 (eucalipto); T6 (mata).
 Profundidades: 1 (0-10 cm); 2 (10-20 cm). Repetições: n = 4

TABELA 7 A, Cont.

Atributos de fertilidade			pH	Al ³⁺	(H+Al)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	SB	CTC _{ef}	CTC _{pH7}	V	P	P _{rem}	MO
Trat.	Prof.	Rep.	cmol _c dm ⁻³									%	mg dm ⁻³	dag kg ⁻¹	
T3	1	1	5,1	0,7	3,6	0,6	0,1	0,0	0,7	1,4	4,3	17,1	1,4	29,8	1,9
T3	1	2	5,3	0,6	3,6	1,2	0,2	0,0	1,4	2,0	5,0	28,6	2,0	28,1	2,6
T3	1	3	5,4	0,4	4,5	2,3	0,8	0,1	3,2	3,6	7,7	41,4	1,7	29,8	4,4
T3	1	4	5,2	0,6	5,0	2,0	0,4	0,2	2,6	3,2	7,6	33,9	2,0	24,0	3,6
T3	2	1	5,2	1,1	4,0	0,3	0,1	0,0	0,4	1,5	4,4	9,7	1,4	26,4	1,5
T3	2	2	5,3	0,7	3,2	0,7	0,1	0,0	0,8	1,5	4,0	20,4	1,7	27,2	1,6
T3	2	3	5,3	0,9	4,0	0,7	0,3	0,0	1,0	1,9	5,0	20,5	1,4	24,8	1,9
T3	2	4	5,4	0,5	3,2	0,8	0,2	0,3	1,3	1,8	4,5	29,2	1,2	23,2	1,6
T4	1	1	5,3	0,8	4,0	0,4	0,2	0,1	0,7	1,5	4,7	14,5	1,2	26,4	2,4
T4	1	2	5,3	0,7	5,0	0,8	0,3	0,1	1,2	1,9	6,2	19,4	1,2	23,2	3,4
T4	1	3	5,2	1,0	5,0	0,2	0,1	0,1	0,4	1,4	5,4	6,7	0,9	24,8	2,7
T4	1	4	5,4	0,9	5,0	0,3	0,2	0,1	0,6	1,5	5,6	10,4	1,4	28,1	3,7
T4	2	1	5,2	1,1	5,0	0,1	0,1	0,1	0,3	1,4	5,3	4,8	1,4	26,4	2,0
T4	2	2	5,2	0,9	4,0	0,1	0,1	0,0	0,3	1,1	4,3	5,9	0,9	24,0	2,1
T4	2	3	5,1	1,1	5,0	0,1	0,1	0,0	0,2	1,3	5,2	4,6	1,2	24,0	2,6
T4	2	4	5,2	0,9	5,0	0,1	0,1	0,0	0,2	1,1	5,2	4,6	0,6	25,6	2,5

Tratamentos: T1 (pinus); T2 (braquiária); T3 (pinus + braquiária); T4 (eucalipto + braquiária); T5 (eucalipto); T6 (mata).
 Profundidades: 1 (0-10 cm); 2 (10-20 cm). Repetições: n = 4

TABELA 7 A, Cont.

Atributos de fertilidade			pH	Al ³⁺	(H+Al)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	SB	CTC _{ef}	CTC _{pH7}	V	P	P _{rem}	MO
Trat.	Prof.	Rep.	.....cmol _c dm ⁻³						%	mg dm ⁻³		dag kg ⁻¹			
T5	1	1	5,0	1,3	5,6	0,2	0,1	0,1	0,4	1,7	6,0	6,0	0,9	28,1	3,4
T5	1	2	4,9	1,1	6,3	0,3	0,2	0,1	0,6	1,7	6,9	8,8	1,7	29,0	4,0
T5	1	3	5,0	1,2	6,3	0,1	0,2	0,1	0,4	1,6	6,7	5,8	2,0	29,0	3,3
T5	1	4	5,1	1,0	5,0	0,3	0,2	0,1	0,6	1,6	5,6	11,3	1,2	29,0	2,6
T5	2	1	5,1	1,2	5,6	0,1	0,1	0,0	0,2	1,4	5,8	3,8	0,4	26,4	2,4
T5	2	2	4,8	1,3	5,0	0,1	0,1	0,0	0,3	1,6	5,3	4,8	1,2	26,4	2,5
T5	2	3	4,9	1,5	7,0	0,1	0,1	0,0	0,2	1,7	7,2	3,3	1,4	26,4	2,5
T5	2	4	4,9	1,2	5,0	0,1	0,1	0,1	0,3	1,5	5,3	4,9	0,6	24,8	1,9
T6	1	1	5,4	0,2	4,5	3,7	1,0	0,2	4,9	5,1	9,4	52,2	1,4	31,6	6,1
T6	1	2	5,8	0,1	3,6	3,6	1,0	0,2	4,8	4,9	8,4	56,9	1,2	30,7	4,3
T6	1	3	5,7	0,1	4,5	3,9	1,2	0,2	5,4	5,5	9,9	54,3	1,7	32,6	4,9
T6	1	4	5,9	0,1	3,6	4,1	1,0	0,2	5,3	5,4	8,9	59,6	0,9	30,7	4,6
T6	2	1	5,4	0,4	4,5	1,2	0,5	0,1	1,8	2,2	6,3	28,9	1,2	28,1	3,4
T6	2	2	5,5	0,4	3,6	1,1	0,5	0,1	1,7	2,1	5,3	32,1	1,4	30,7	2,4
T6	2	3	5,6	0,3	4,5	1,3	0,6	0,2	2,1	2,4	6,6	31,9	1,2	26,4	2,9
T6	2	4	5,6	0,3	3,6	1,6	0,5	0,1	2,2	2,5	5,8	38,1	0,9	30,7	2,6

Tratamentos: T1 (pinus); T2 (braquiária); T3 (pinus + braquiária); T4 (eucalipto + braquiária); T5 (eucalipto); T6 (mata).
 Profundidades: 1 (0-10 cm); 2 (10-20 cm). Repetições: n = 4