

MÁRCIO NEVES RODRIGUES

**ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS DO
SOLO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA – PECUÁRIA –
FLORESTA**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Ciências Agrárias, concentração em Agroecologia, do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciências Agrárias.

Coorientador: Prof. Reginaldo Arruda Sampaio
Orientador: Prof. Leonardo David Tuffi Santos

Montes Claros
2013

Rodrigues, Márcio Neves.

N696a Atributos físicos, químicos e microbiológicos do solo em sistema
2013 de integração lavoura – pecuária - floresta / Márcio Neves
Rodrigues. Montes Claros, MG: ICA/UFMG, 2013.

81 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias, área de concentração em Agroecologia) Universidade Federal de Minas Gerais, 2013.

Orientador: Prof. Leonardo David Tuffi Santos.

Banca examinadora: Regynaldo Arruda Sampaio, Luiz Arnaldo Fernandes, José Barbosa dos Santos, Leonardo David Tuffi Santos.

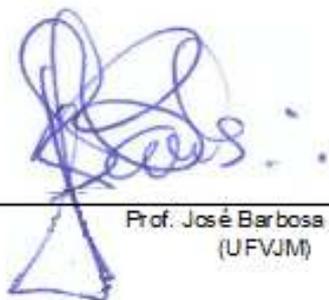
Inclui bibliografia: f. 70-81.

1. Solos. 2. Lavoura – Silvicultura. I. Santos, Leonardo David Tuffi.
II. Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Agrárias. III. Título.

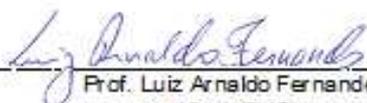
CDU: 631.4

MÁRCIO NEVES RODRIGUES

ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS DO SOLO EM
SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA – PECUÁRIA – FLORESTA



Prof. José Barbosa dos Santos
(UFVJM)



Prof. Luiz Arnaldo Fernandes
(ICA/UFMG)



Prof. Reginaldo Arruda Sampaio
Coorientador (ICA UFMG)



Prof. Leonardo David Tuffi Santos
Orientador (ICA-UFMG)

Aprovada em 20 de dezembro de 2012.

Montes Claros
2013

AGRADECIMENTOS

A Deus, por tornar tudo possível e pelo conforto nas adversidades.

Especiais, ao Prof. Reginaldo Arruda pela confiança, pelo apoio e por ser o maior incentivador na superação de meus limites, por ser também uma referência de conduta.

Ao Prof. Leonardo Tuffi pela oportunidade e pela disponibilidade na condução deste meu trabalho.

Ao Instituto de Ciências Agrárias da UFMG, *Campus* Montes Claros.

A FAPEMIG e a CNPq, pelo apoio financeiro que permitiu a realização deste trabalho.

À Isabella e Marcos pela colaboração e auxílio pontual nos trabalhos.

À Verônica por partilhar o experimento.

Ao José Barbosa e ao Luiz Arnaldo pelas orientações e esclarecimentos.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO 2 - ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA

Figura 1 -	Foto de satélite da área experimental.....	23
Figura 2 -	Parcelas dos sistemas de integração.....	26
Gráfico 1 -	Atributos químicos do solo: saturação por bases (A), soma de bases (B), pH (C) e acidez potencial (D), e Intervalos de confiança das médias testados a 5% de probabilidade pelo teste t em função dos sistemas de cultivo.....	30
Gráfico 2 -	Teores de matéria orgânica (A) e CTC _(T) (B) nos diversos usos do solo com intervalo de confiança da média a 5% de probabilidade pelo teste t.....	33
Gráfico 3 -	Macronutrientes no solo: potássio (A), cálcio (B) e magnésio (C), e Intervalos de confiança das médias em função dos sistemas de cultivo a 5% de probabilidade pelo teste t.....	36
Gráfico 4 -	Atributos físicos do solo: densidade aparente (A), densidade de partículas (B), porosidade total (Pt) e grau de floculação (D), e intervalos de confiança das médias a 5% de probabilidade pelo teste t em função dos sistemas de cultivo.....	39
Gráfico 5 -	Diâmetro médios ponderado (A), diâmetro médio geométrico (B) e índice de estabilidade de agregados do solo (C), e intervalos de confiança das médias a 5% de probabilidade pelo teste t em função dos sistemas de cultivo.....	45
Quadro 1 -	Descrição dos sistemas de uso, ocupação e cultivo do solo do experimento.....	25
Tabela 1 -	Coeficiente de correlação simples de Pearson entre os teores de matéria orgânica e Ca, Mg, H + Al, nitrogênio em Argissolo Vermelho-Amarelo.....	32

CAPÍTULO 3 - CARBONO, NITROGÊNIO, FÓSFORO E ATIVIDADE MICROBIANA DO SOLO EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA

Figura 1 -	Foto de satélite da área experimental.....	52
Figura 2 -	Parcelas dos sistemas de integração.....	57
Gráfico 1 -	Nitrogênio total (A), fósforo (B), matéria orgânica (C) e relação C/N (D) nos diversos usos do solo e intervalos de confiança das médias a 5% de probabilidade pelo teste t.....	60
Gráfico 2	Carbono da biomassa microbiana (CBM) (A) e respiração microbiana do solo (B) nos diversos usos do solo e intervalos de confiança das médias a 5% de probabilidade pelo teste t.....	65
Quadro 1 -	Descrição dos sistemas de uso, ocupação e cultivo do solo do experimento.....	53
Quadro 2 -	Correlação simples de Pearson dos atributos químicos do solo em função de sua atividade microbiana.....	61

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - REFERENCIAL TEÓRICO

1	INTRODUÇÃO	8
2	OBJETIVO GERAL	10
3	REVISÃO DE LITERATURA	11
3.1	Sistemas de ILPF como práticas de produção sustentável e de recuperação de áreas degradadas	11

CAPÍTULO 2 - ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA – PECUÁRIA – FLORESTA

	RESUMO	17
	ABSTRACT	18
1	INTRODUÇÃO	19
2	OBJETIVO	21
3	MATERIAIS E MÉTODOS	22
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
4.1	Atributos químicos e fertilidade do solo.....	28
4.2	Atributos físicos do solo.....	37
5	CONCLUSÃO	45

CAPÍTULO 3 - CARBONO, NITROGÊNIO, FÓSFORO E BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA PECUÁRIA – FLORESTA

	RESUMO	46
	ABSTRACT	47
1	INTRODUÇÃO	48
2	OBJETIVO	50
3	MATERIAL E MÉTODOS	51

4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
5	CONCLUSÃO	68
	REFERÊNCIAS.....	69

CAPÍTULO 1 - REFERENCIAL TEÓRICO

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a área total de pastagens é da ordem de 101,4 milhões de hectares (IBGE, 2009), sendo que grande parte dessa área encontra-se em algum estágio de degradação ambiental com baixíssima produtividade, principalmente no bioma Cerrado, comprometendo a produtividade e a sustentabilidade da pecuária nacional (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2011).

O extrativismo tem como principal característica a produção em regime de pastagens naturais, sendo que a adoção de tecnologias e uso intensivo de capital estão restritos somente a um pequeno grupo de produtores. Ocorrem sucessivos impactos ambientais negativos, comprometendo a fertilidade do solo, a capacidade produtiva e a sustentabilidade do sistema agrícola dos cerrados (MARTINS, 1996; BARCELLOS *et al*, 2008).

Para Martha Júnior e Corsi (2001), a causa desses impactos está no manejo inadequado do sistema solo-planta-animal, causando a degradação das pastagens, o abandono de áreas e o desmatamento para implantação de novos sistemas. Dias Filho (2011) afirma que a reutilização dos pastos abandonados e as precauções a serem tomadas para que áreas produtivas não entrem em processo de degradação são hoje o maior desafio a ser superado para o estabelecimento de uma pecuária bovina sustentável em termos agrônômicos, econômicos e ambientais no Brasil.

O uso correto de tecnologias e de boas práticas agropecuárias em pastagens degradadas pode reverter essa situação, tornando possível reinseri-las no processo produtivo. Entre essas tecnologias destaca-se a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) (MAPA, 2012). A contribuição das árvores integradas aos sistemas de produção de lavoura e/ou pecuária é comprovada por pesquisas, as quais demonstram o papel importante desse componente na reabilitação e manutenção das qualidades dos atributos

físicos, químicos e microbiológicos de solos degradados pelos sistemas de usos intensivos do solo sem adoção de práticas conservacionistas.

A principal contribuição das árvores se faz pelo aporte de matéria orgânica, em razão da queda de folhas e galhos (COSTA, 2004), ciclagem de nutrientes (VITAL *et al.*, 2004), fixação de nitrogênio (COELHO *et al.*, 2007), proteção do solo do impacto das chuvas e das mudanças bruscas de temperatura (YOUNG, 1989), conservação de umidade do solo, formação de microclima mais favorável, aumento da atividade microbiana, estruturação do solo, ação das raízes e melhores índices de infiltração de água e trocas gasosas, indispensáveis aos processos químicos e microbiológicos de decomposição e respiração (SZOTT; PALM; SANCHEZ, 1991; ROOSE; NDAYIZIGIYE, 1997).

Um dos maiores desafios dos sistemas integrados é a identificação da melhor configuração do consórcio. São avaliados espaçamentos, espécies, tempo de implantação e contribuições ao ecossistema, em função das diversas formas e variações dos componentes envolvidos no sistema, sendo a comparação feita sempre com áreas degradadas e áreas de vegetação nativa sem intervenção humana, a fim de facilitar o entendimento dos processos de sustentabilidade (CARVALHO; GOEDERT; ARMANDO, 2004; MAIA *et al.*, 2006; LOSS *et al.*, 2009; KAUR; GUPTA; SINGH, 2000).

2 OBJETIVO GERAL

Avaliar os atributos químicos, físicos e microbiológicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta e em seus monocultivos implantados em área de pastagem degradada.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 ILPFs como práticas de produção sustentável e de recuperação de pastagens degradadas.

Os sistemas ILPF simulam características dos ecossistemas naturais, como multiestratificação de copa e presença de raízes profundas, o que maximizaria as consequências positivas das intervenções humanas e manter as condições mais próximas daquelas de vegetação natural (SILVA *et al.*, 2011).

A degradação do solo caracteriza-se pela redução da capacidade de produção nos ecossistemas, em razão das perdas de suas funções ao longo do tempo. O fato representa grande prejuízo para a sociedade, não só pelos gastos com fertilizantes para tornar as terras produtivas novamente, mas pela perda de biodiversidade e destruição de paisagens naturais (NACHTERGAELE; BIANCALANI; PETRI, 2012).

A degradação física do solo afeta diretamente as terras produtivas nas lavouras e nas áreas de pastagens, causada principalmente pelo uso excessivo de maquinários e pisoteio de animais, respectivamente (ECHAVARRIA, *et al.*, 2007; NACHTERGAELE; BIANCALANI; PETRI, 2012). O processo que culmina com a ruptura dos recursos naturais é causado pelas alterações em sua estrutura, evidenciadas pela compactação e consequente diminuição das taxas de infiltração e capacidade de retenção de água, causando erosão e assoreamento de nascentes, lagos e rios (MACEDO; VENTURIN; TSUKAMOTO FILHO, 2000).

O aumento da densidade do solo evidencia-se pela diminuição dos espaços porosos do solo, os quais normalmente são preenchidos por água e/ou ar, que fazem parte das trocas gasosas, caracterizado por um aumento da resistência à penetração no solo e da permeabilidade, resultantes de cargas aplicadas na superfície do solo (SOANE; VAN OUWERKERK, 1994).

Contudo, essa situação é observada em locais de produção nos quais não foram tomadas medidas corretas de manejo do solo, expondo-o a situações limites de utilização, que levam à diminuição dos níveis de qualidade dos atributos físicos importantes, aumento da densidade e consequente diminuição da macroporosidade. A redução da quantidade de macroporos no solo impede o deslocamento do equilíbrio químico que favoreceria as reações, pois não permite de forma eficiente a infiltração da água, a solubilização das substâncias e o desenvolvimento das raízes (KAISER *et al.*, 2009; BERGAMIN, *et al.* 2010).

Em solo sob uso intensivo de produção de forrageira, Giarola, Tormenta e Dutra (2007) constataram porosidade total menor do que 10% na camada superficial, enquanto Gaggero (1998) observou redução de 38% na macroporosidade e aumento de 15% na densidade na área pastejada pelo gado durante o inverno, em Argissolo.

O sistema radicular das culturas apresenta diferentes graus de tolerância à densidade, porém, de maneira generalizada, as plantas respondem a valores críticos, a partir dos quais se iniciam restrições ao seu crescimento (ALVARENGA *et al.*, 1996; NADIAN *et al.*, 1996). Grzesiak *et al.* (2012) observaram diferenças na distribuição das raízes no perfil do solo sob graus de compactação considerados baixo ($1,10 \text{ gcm}^{-3}$), médio ($1,34 \text{ gcm}^{-3}$) e alto ($1,58 \text{ gcm}^{-3}$). Neste caso, as plantas apresentaram menor número de folhas e de massa seca do caule, das raízes e das folhas para os graus médio e alto, em comparação ao grau baixo, e aumento no espalhamento das raízes.

Entretanto, em locais em que se tentou simular algumas características da vegetação nativa, diminuindo o estresse ao solo, como o plantio de espécies arbóreas que estivessem adaptadas à região e ao solo, alguns resultados benéficos foram observados, como a descompactação do solo. O fato foi refletido por índices de densidade, os quais se aproximaram, dentro de um contexto temporal, daqueles dos locais sob vegetação natural do entorno e dos que tiveram intensidade de ações antrópicas menos intensas

(FISHER, 1995; BURESH; TIAN, 1998; SILVA *et al.*, 2011; LENKA *et al.*, 2012).

Fisher (1995) promoveu o reflorestamento de uma área de pasto abandonado com árvores nativas do local e, após quatro anos do plantio, observou diminuição significativa dos níveis de densidade do solo. Silva *et al.* (2011), avaliando a densidade do solo, a resistência à penetração e a umidade, em um Luvissole, cultivado em sistemas de ILPFs, manejo convencional e vegetação natural por um período de 8 anos, observaram que os ILPFs melhoraram ou mantiveram a qualidade física do solo quando comparado à vegetação nativa; e que o mesmo nível de qualidade física do solo não foi verificado para o sistema de manejo convencional. Os valores de intervalo hídrico ótimo para ILPFs foram semelhantes aos observados para a vegetação nativa, apresentando ainda melhor aeração, sucção matricial e menor resistência à penetração de raízes.

A formação e resistência dos agregados que compõem a estrutura do solo dependem da sua composição química, da atividade biológica e dos tipos de exsudatos orgânicos produzidos (HORN; LEBERT, 1994). Todavia, os processos biogeoquímicos raramente funcionam isoladamente, sendo que a distribuição das unidades estruturais de solo controla a disponibilidade de oxigênio, água e a resistência à penetração por raízes (NASR; SELLES, 1995). Convém destacar que os poros intra-agregados são constituídos de poros finos e tortuosos, nos quais o fluxo de água é muito menor; com isso, o transporte de íons por meio de fluxo de massa e difusão é mais lento, retardando os processos químicos (HORN; LEBERT, 1994).

Os cuidados com o solo devem levar em consideração a prevenção de situações que venham a desestruturar o solo, comprometendo os processos naturais que envolvem as reações químicas e biológicas. Essas boas condições físicas são normalmente observadas em solos sob vegetação nativa, estando relacionadas ao aporte sistemático de matéria orgânica que ajuda a preservar os atributos do mesmo. Diante disso, é importante que o manejo a ser utilizado busque a manutenção desses processos, e que as atividades a serem implantadas simulem o comportamento da vegetação

nativa e toda a sua dinâmica (MARTHA JÚNIOR; CORSI, 2001; SILVA *et al.*, 2011; GRZESIAK *et al.*, 2012).

A estabilidade de agregados é indicador dos processos envolvidos no solo, pois está relacionada aos índices de matéria orgânica e conseqüentemente à degradação do solo (TIPPKÖTTER, 1994; DUFRANC *et al.*, 2004). Em solos em que houve a fragmentação excessiva dos agregados podem ocorrer o selamento e encrostamento superficial, aumentando as taxas de escoamento e diminuindo a permeabilidade do solo (DERPSCH *et al.*, 1991); com isso, prejudicaria os processos de estabelecimento das plantas pela inibição da germinação e crescimento das sementes, e altos índices de mortalidade (GARDNER; LARYEA; URGER, 1999; KOZLOWSKI *et al.*, 1999).

Em um sistema horti-silvi-pastoril por um período de 6 anos em área degradada, tendo como objetivo observar as mudanças ocorridas no carbono orgânico do solo, na estabilidade dos agregados em água e na retenção da umidade do solo, na camada de 0 a 30cm, Lenka *et al.* (2012) constataram a importante contribuição do componente arbóreo na melhoria desses atributos, pois os sistemas implantados, quando comparados a um remanescente de área degradada tomada como controle, apresentaram maiores proporções de macroagregados (> 250 µm) e maiores níveis de carbono orgânico, além de manter o solo mais úmido, mostrando o potencial de reabilitação nesses sistemas.

Em relevos acidentados, visando manter a qualidade e a produtividade do solo nessas condições, o primeiro passo é estabilizar e reabilitar as áreas degradadas, sendo as maiores chances de sucesso na restauração em base sustentável, com a utilização de sistemas agroflorestais (BURESH; TIAN, 1998).

A contribuição dos sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta é perceptível por meio da melhoria das condições dos atributos químicos do solo, melhorando os índices de fertilidade. Essas mudanças ocorrem em função da mineralização da matéria orgânica, depositada pelos resíduos das árvores e das lavouras e pastagens, formando a liteira, e pela fixação de

nitrogênio. O material sobreposto ao solo favorece a manutenção da umidade e juntamente com a sombra das árvores ajudam a melhorar o microclima do local, impedindo mudanças bruscas de temperatura durante o dia. Além disso, ocorre o desenvolvimento da microbiota, fungos e bactérias, que participam ativamente da decomposição dos resíduos depositados (NEUPANE; THAPA, 2001; ALFAIA *et al.*, 2004; SHARMA; SHARMA; SHARMA, 2009; FONTE; BARRIOS; SIX, 2010).

Ao longo do tempo, em sistemas bem manejados, observa-se a reabilitação de áreas que tiveram suas condições químicas exauridas pela exportação de nutrientes em razão da retirada do componente vegetal. Para Buresh E Tian (1998), as árvores podem influenciar no suprimento e na disponibilidade de nutrientes, dentro da zona que circunda as raízes, por meio da fixação de nitrogênio, recuperação dos nutrientes abaixo dessa zona, redução das perdas por lixiviação e erosão.

Em estudo na Amazônia com pequenos produtores em áreas de floresta, que utilizavam sistema de queimadas para reposição dos nutrientes, que após 10 anos de implantação de sistema agroflorestal formado pelo consórcio de cupuaçu, pupunha e castanheira com arroz, feijão e leguminosas, Alfaia *et al.* (2004) observaram que os valores de pH, C orgânico, P, Ca e Mg foram mais elevados em comparação à mata nativa e ao pasto do entorno. Contudo, verificaram redução dos teores de K e P, tendo como causa a exportação de nutrientes por meio da retirada dos frutos. Fonte, Barrios e Six (2010) verificaram aumento três vezes maior da disponibilidade de fósforo em sistemas agroflorestais, comparados a sistemas convencionais.

Sharma, Sharma e Sharma (2009), avaliando o impacto da idade do povoamento agroflorestal de alder-cardamom no Himalaya, por um período de 40 anos, sobre a matéria orgânica, nitrogênio e fósforo do solo, observaram pico nos índices dos nutrientes nos períodos de 15 a 20 anos após a implantação do povoamento. Nesse caso, o pH apresentou relação negativa com a matéria orgânica e a idade do povoamento, e houve redução da performance das árvores após 20 anos em decorrência da limitação e

dinâmica dos nutrientes no solo, em função, provavelmente, da remoção da biomassa como parte de uma tradicional prática de manejo. Os autores recomendam reflorestamento cíclico com as espécies como forma de manutenção da sustentabilidade econômica e ecológica.

Os efeitos dos ILPFs sobre os solos demandam um tempo razoável para serem evidentes, conforme demonstrado por Tornquist *et al.* (1999) ao comparar sistemas ILPFs com 5 anos de implantação e área de pastagem. Nesse caso, os autores não observaram diferenças significativas para os atributos químicos e biomassa microbiana do solo, o que estaria relacionado ao pouco tempo de implantação dos sistemas. Por outro lado, Neupane e Thapa (2001) constataram aumento da produção de sistemas ILPFs com 4 anos de implantação, comparados ao plantio convencional. Kaur, Gupta e Singh (2000) encontraram maiores valores de biomassa microbiana em sistemas agroflorestais com 6 a 7 anos de implantação, comparados aos monocultivos de arroz e árvores. Além disso, o carbono do solo teve aumento de 11% a 52% e o de nitrogênio foi de 8% a 74%, enquanto a taxa de mineralização foi de 12% a 37% superior.

Barcellos *et al.* (2008) afirmam que as leguminosas são importantes em sistemas integrados por aumentar o valor nutricional das forrageiras, principalmente pelas contribuições no aporte de nitrogênio. Além disso, proporcionam aumentos significativos nos estoques de carbono do solo, incrementam a velocidade de ciclagem e favorecem a atividade biológica do solo.

CAPÍTULO 2 - ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA

RESUMO

Os sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta são importante estratégia de recuperação de áreas degradadas, pois aumentam a biodiversidade e a cobertura do solo, e reduzem a erosão, promovendo boas condições físicas e químicas do solo. O experimento foi conduzido no ICA/UFMG em Montes Claros – MG, em Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico, e teve como objetivo avaliar os atributos químicos e físicos do solo em sistemas de ILPF em comparação com outros usos do solo. No estudo foram avaliados sistemas de ILPF, os monocultivos de acácia (*Acacia mangium*), eucalipto (*Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*), *Brachiaria brizantha*, *Brachiaria decumbens*, *Sorghum bicolor*, *Panicum maximum*, com variações de cultivo em três ciclos agrícolas em período de 2 anos, em comparação à mata nativa, pastagem de *Brachiaria brizantha* com mais de 8 anos de atividade e pastagem degradada de *Panicum maximum* com áreas de solo exposto. Comparados à mata nativa e a sistemas bem conduzidos de pastagens e de ILPF, os teores de matéria orgânica e de cálcio do solo foram menores em monocultivos de eucalipto, acácia e forrageiras. Contudo, entre os sistemas ILPF não houve mudanças significativas na estabilidade de agregados, na densidade aparente e na porosidade do solo aos 27 meses de sua implantação. O fato de o solo apresentar boa fertilidade de maneira geral contribuiu para que as variáveis CTC total, pH, potássio e magnésio avaliadas não facilitassem a distinção dos ambientes analisados. A matéria orgânica do solo e os teores de Ca foram superiores em ambientes de mata nativa e de pastagem conservada, e podem ser considerados em avaliações em ILPF com poucos anos de implantação.

Palavras-chave: ILPF. Conservação solo. Áreas degradadas. Recuperação ambiental. SAF.

CHAPTER 2 - PHYSICAL AND CHEMICAL ATTRIBUTES OF SOIL IN CROP-LIVESTOCK- FOREST INTEGRATION SYSTEM

ABSTRACT

The integrated crop-livestock-forest it's an important strategy for forest reclamation, since they increase biodiversity and soil cover, and reduces erosion, promoting good physical and chemical conditions of the soil. The experiment was conducted at the ICA / UFMG in Montes Claros - MG, in red yellow argisol, and aimed to evaluate the chemical: pH, organic matter, phosphorus, potassium, calcium and magnesium, and total effective CEC, base saturation, saturation aluminum, aluminum, and physical attributes: bulk density, particle density, porosity, water dispersible clay and soil aggregate stability in integrated crop-livestock-forest compared with other land uses. The study evaluated ICLF systems, monoculture acacia (*Acacia mangium*), eucalyptus (*Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*), *Brachiaria brizantha*, *Brachiaria decumbens*, *Sorghum bicolor*, *Panicum maximum*, with variations of agricultural cultivation in 3 cycles in period 2 years, compared to native forest, *Brachiaria brizantha* with over 08 years of activity and degraded pasture of *Panicum maximum* with areas of exposed soil. Compared to native forest and pasture systems well conducted and ICLF, the organic matter content and soil calcium are lower in monocultures of eucalyptus, acacia and grasses. However, between systems IAFP no significant changes in aggregate stability, the density and porosity of the soil at 27 months after its implementation.

Keywords: Agroforestry. Soil conservation. Degraded áreas. Environmental restoration.

1 INTRODUÇÃO

Os avanços da pesquisa agropecuária têm como seu maior desafio promover a produção de alimentos e bens de consumo de forma a atender à crescente demanda da população, com o menor impacto possível ao meio ambiente. Destacam-se os sistemas integrados lavoura – pecuária – floresta (ILPF), os quais conciliariam a manutenção de ganhos econômicos por longos períodos, pela comercialização de ampla variedade de produtos, com a conservação do meio ambiente (PACIULLO *et al.*, 2011).

Balieiro *et al.* (2004) relatam que a implantação de árvores em sistemas de cultivo agrícola e pecuário aumenta a eficiência na captação de energia, pois ocupam diferentes estratos no ambiente. Além disso, Barreto *et al.* (2006) destacam a importância das árvores no fornecimento de matéria orgânica para o solo e na ciclagem de nutrientes, o que favorece o desenvolvimento da biota e a melhora significativa das propriedades químicas e físicas do solo.

Estudos realizados em ILPF, envolvendo a introdução de leguminosas como um dos componentes arbóreos, consorciados às forrageiras, mostraram melhoria da qualidade da matéria orgânica e da relação C/N da serrapilheira, pois análises em ambientes dominados somente pelas gramíneas apresentaram valores altos dessa relação, o que acarretaria indisponibilidade temporária do nitrogênio (BALIEIRO *et al.*, 2004). Uma relação dentro dos padrões desejáveis promove o desenvolvimento adequado dos microrganismos, incrementando as taxas de mineralização e a disponibilização de nutrientes (RANDOMSKI; RIBASKI, 2012).

Os benefícios ao ambiente observados quando da adoção dos sistemas de ILPF devem ser aproveitados para recuperação de pastagens degradadas, considerado como um dos maiores problemas para a pecuária brasileira (MACEDO, 2009). A recuperação dessas áreas degradadas deve estimular o desenvolvimento de alternativas rentáveis e operacionais com potencial para modificar positivamente a capacidade produtiva e a sustentabilidade da propriedade.

As contribuições para melhorias físicas e químicas do solo em função do adequado dele podem ocorrer a curto (NEUPANE; THAPA, 2001), médio (KAUR; GUPTA; SINGH, 2000) e longo prazo (ALFAIA *et al.*, 2004; SHARMA; SHAMA; SHAMA, 2009). Embora na literatura as alterações mais importantes decorrentes da inserção de árvores em cultivos múltiplos com forrageiras e/ou culturas agrícolas são mais pronunciadas em sistemas antigos (SHARMA; SHARMA; SHARMA, 2009). Entretanto, em curtos períodos, sinais de melhoria na sustentabilidade desses agroecossistemas precisam ser identificados para nortear práticas mais sustentáveis de manejo na ILPF.

2 OBJETIVO

Avaliar os atributos químicos e físicos do solo nos sistemas consorciados de integração lavoura-pecuária-floresta e em seus monocultivos implantados em área de pastagem degradada.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em área de Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico ICA/UFMG, Montes Claros, MG, nas coordenadas 16°40'3.17" S e, 43°50'40.97" W, a 598 metros de altitude (FIG. 1). Segundo a classificação de Köppen, o clima regional é o Aw - Tropical de Savana, caracterizado por temperaturas anuais elevadas e regime de chuvas marcado por duas estações bem definidas, com verão chuvoso e inverno seco.

Foram avaliados os seguintes usos do solo: mata nativa (MN); pastagem de braquiarião com mais de 8 anos de implantação (P8); pastagem degradada (Pd), FIG. 1, onde em parte foi feita a implantação do sistema ILPF e monocultivos de forrageiras e de árvores descritos na FIG. 2 e no QUADRO 1. Os tratamentos testados com as espécies forrageiras, *Sorghum bicolor*, *Brachiaria decumbens*, *Brachiaria brizantha* e *Panicum maximum* foram implantados em três ciclos distintos, nos anos de 2008 e 2009 (1º ciclo), 2009 e 2010 (2º ciclo) e 2010 e 2011 (3º ciclo). Cada tratamento teve quatro repetições.

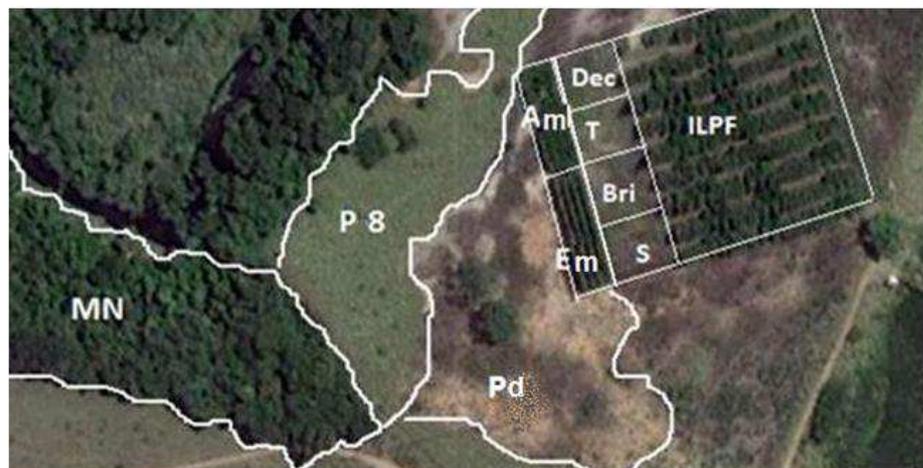


FIGURA 1 - Foto de satélite da área experimental.

Notas: MN = mata nativa; P-8 = pastagem com mais de 8 anos de implantação; Pd = pastagem degradada; Em = monocultivo de eucalipto; Am = monocultivo de acácia; S = sorgo, Bri = braquiarião; T = Tanzânia; Dec = braquiarinha; ILPF = integração-lavoura-pecuária-floresta com eucalipto e acácia intercalada com eucalipto na linha de árvores nos diversos sistemas de consórcio com forrageiras e feijão em três ciclos de cultivo.

Fonte: Adaptado do “Google maps”. Disponível em: [www,maps.google.com](http://www.maps.google.com).

As avaliações ocorreram em abril de 2011, 27 meses após a implantação dos consórcios do primeiro ciclo. Em cada parcela foram feitas amostras compostas de solo, a partir de quatro coletas simples, na profundidade de 0 a 20 cm.

Os tratos culturais das áreas de monocultivo seguiram as recomendações agronômicas das culturas envolvidas. O plantio do sorgo e das forrageiras foi feito em semeadura direta na palha, após prévia dessecação com herbicida à base de glyphosate, independentemente do ciclo agrícola. A adubação de plantio do sorgo em monocultivo e na ILPF ocorreu com a formulação 06-30-06 (N-P-K) na dose de 300 kg ha⁻¹ e adubação de cobertura de 80 kg ha⁻¹ de nitrogênio, com o sulfato de amônio.

O plantio das mudas de eucalipto e acácia aconteceu em dezembro de 2008 em covas de 40 cm de diâmetro, previamente adubadas com 100 g de superfosfato simples. Após 15 dias do plantio das árvores, houve adubação, utilizando-se 18 g/cova de boro e 100 g/cova da fórmula 4-30-10 (NPK). Aos

90 e 150 dias após o transplante (DAT) das mudas de eucalipto e de acácia, ocorreu adubação de cobertura com 150 g/planta de KCl e, aos 270 DAT, com 100 g/planta da fórmula 10-30-10 (N-P-K), como adubação de reforço.

QUADRO 1 - Descrição dos sistemas de uso, ocupação e cultivo do solo do experimento.

DESCRIÇÃO		
USO DO SOLO	CICLOS	LINHA DE ÁRVORES NO ESPAÇAMENTO (10 X 2)
		Eucalipto (E) Acácia + Eucalipto (AE)
CULTIVO NA ENTRELINHA		
ILPF I	1º	sorgo + capim-andropogom (<i>Andropogom gayanus</i>)
	2º	sorgo + braquiarinha (<i>Brachiaria decumbens</i>)
	3º	feijão-catador + feijão-de-porco + braquiarinha
ILPF II	1º	sorgo + capim-braquiarão (<i>Brachiaria brizantha</i>)
	2º	sorgo + capim-braquiarão
	3º	feijão-catador + feijão-de-porco + capim-braquiarão
ILPF III	1º	sorgo + capim-tanzânia (<i>Panicum maximum cv</i>)
	2º	sorgo + capim-tanzânia
	3º	feijão-catador + feijão-de-porco + capim-tanzânia
ILPF IV	1º	sorgo
	2º	sorgo
	3º	feijão-catador + feijão-de-porco
Monocultivos		
S	1º a 3º	sorgo
Dec	1º a 3º	capim-braquiarinha
Bri	1º a 3º	capim-braquiarão
T	1º a 3º	capim-Tanzânia
Em	1º a 3º	eucalipto clonal (<i>Eucalipto urophylla x E. grandis</i>), plantado no espaçamento 3x2m.
Am	1º a 3º	<i>Acacia mangium</i> , plantada no espaçamento 3x2m.
Demais usos da terra		
Pd		Área de pasto degradado, capim-tanzânia
P8		Pastagem de braquiarão com mais de 8 anos de formada, sem aporte de nutrientes e corretivos, com manejo extensivo dos animais.
MN		Mata nativa

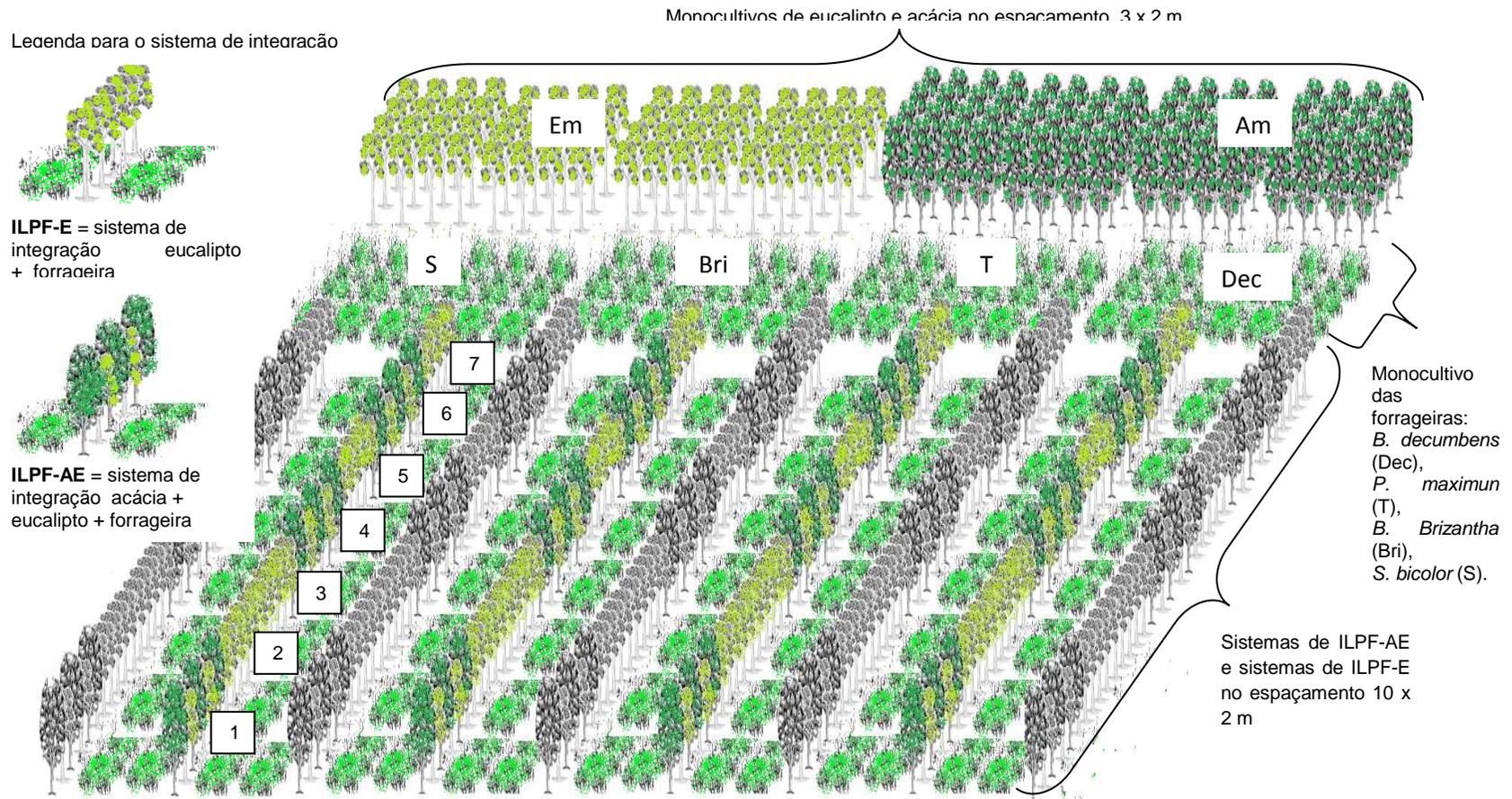


FIGURA 2 - Parcelas dos sistemas de integração

1 = ILPF-I-AE (acácia+eucalínto+braquiárinha), 2 = ILPF-I-E (eucalínto+braquiárinha), 3 = ILPF-II-E (eucalínto+braquiárão), 4 = ILPF-II-AE (acácia+eucalínto+braquiárão), 5 = ILPF-III-E (eucalínto+Tanzânia), 6 = ILPF-III-AE (acácia+eucalínto+Tanzânia) e 7 = ILPF-IV-E (eucalínto+sorgo). As linhas de árvores se mantiveram Inálteradas, porém as forrageiras foram dispostas aleatoriamente nas 4 unidades experimentais.

Fonte: do Autor.

O eucalipto e a acácia foram cultivados em monocultivo em área de 450 m², com espaçamento de 3x2 m, totalizando 75 árvores. Nas parcelas em consórcio com sorgo e forrageiras, o eucalipto e/ou acácia + eucalipto foi cultivado no espaçamento de 10x2 m, totalizando 140 árvores.

As forrageiras foram semeadas a lanço na superfície do terreno em todos os ciclos de cultivo, utilizando-se 6 kg ha⁻¹ de sementes puras e viáveis, imediatamente antes do plantio do sorgo. A semeadura do sorgo ocorreu distribuindo oito sementes por metro linear e espaçamento de 0,5 m entre fileiras, respeitando-se 1,0 m de distância das linhas das árvores, sendo utilizado o cultivar BRS 610, recomendado para silagem. A adubação utilizada na semeadura do sorgo foi de 300 kg ha⁻¹ da fórmula 4-30-10 (N-P-K) e aos 30 dias após a sua emergência aplicaram-se 80 kg ha⁻¹ de N em cobertura, utilizando-se o sulfato de amônio. No período correspondente ao plantio das espécies forrageiras e do sorgo até a sua colheita para silagem toda a área de ILPF e de monocultivo de forrageiras, sorgo e árvores foi irrigada por aspersão, sempre que necessário, com lâmina de água diária de 5,0 mm.

As amostras de solo foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneiras de 2 mm para obtenção da TFSA. As análises para avaliação dos atributos químicos e físicos do solo ocorreram conforme metodologias preconizadas pela EMBRAPA (EMBRAPA, 1997). Foram avaliados os atributos químicos: pH, matéria orgânica (MO), cálcio (Ca), potássio (K), magnésio (Mg), alumínio (Al), soma de bases (SB), acidez efetiva (H+Al), capacidade de troca catiônica potencial (T) e efetiva (t) e saturação por bases (V). Para os atributos físicos do solo foram analisadas a densidade aparente, a densidade de partícula, o índice de floculação da argila e a estabilidade de agregados em água.

Para comparações entre tratamentos foram calculados intervalos de confiança das médias, considerando-se o nível de probabilidade de 5% pelo teste t.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Atributos químicos e fertilidade do solo

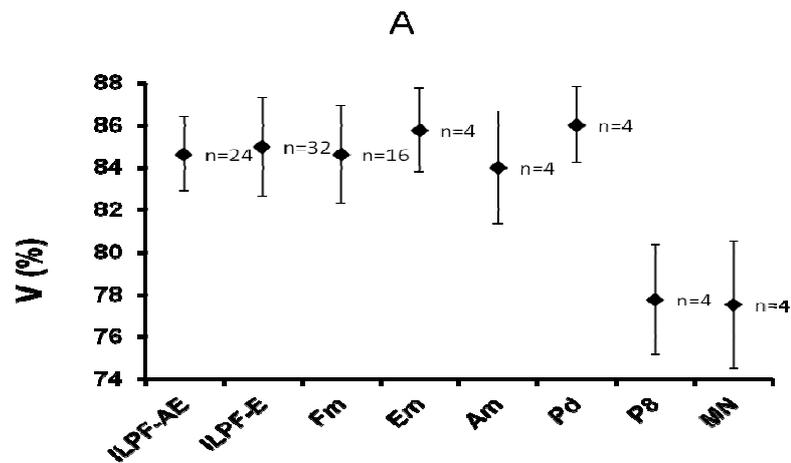
Os diversos arranjos de ILPF e os monocultivos de forrageiras não apresentaram diferenças estatísticas entre os seus subsistemas. Foram feitas médias gerais para cada sistema: (AE) ILPF com linha de árvores de acácia + eucalipto; (E) ILPF com linha de árvores de eucalipto; e (FM) Monocultivos de sorgo (S), Tanzânia (T), *Brachiaria decumbens* (Dec) e *Brachiaria brizantha* (Bri).

Observa-se no GRAF. 1 que em todos os sistemas agrícolas estudados, os valores de pH do solo ficaram acima de 6,1, o que corresponde à classificação “alta” para valores de pH, ou “acidez fraca” (ALVAREZ *et al.*, 1999)

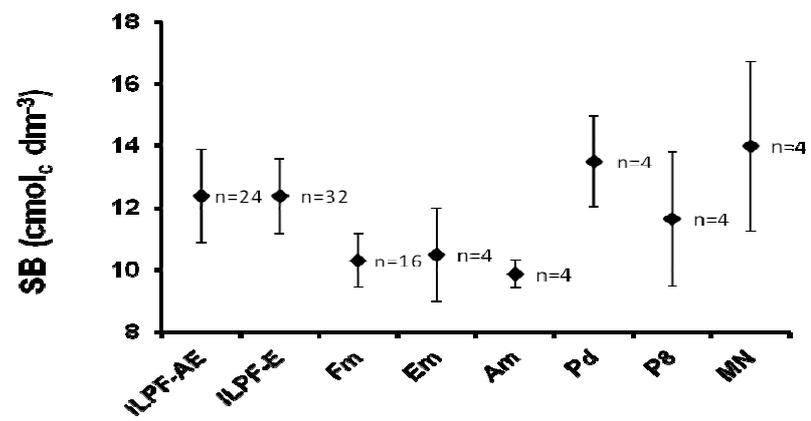
Esses valores estão de acordo com os observados para a SB e a V%, que igualmente foram elevados, caracterizando os solos como de boa fertilidade química. Da mesma forma, não foram constatados teores de alumínio trocável, sendo a acidez potencial influenciada somente pelos teores de hidrogênio. A comparação entre sistemas evidencia que a acidez potencial (H+Al) foi mais elevada na mata nativa (MN) e na pastagem de capim-braquiara em uso há mais de 8 anos (P8) em relação aos demais usos do solo. O fato estaria associado ao processo de mineralização da matéria orgânica, pois apresentou alta correlação com esse atributo (TAB. 1), e pela produção de exsudatos radiculares pelas raízes, comuns em áreas de matas e em solos com teores elevados de matéria orgânica (BARRETO *et al.* 2006), o que é comprovado nesse experimento.

Os valores obtidos para SB foram classificados como “muito bom”, de acordo com Alvarez *et al.* (1999) da Comissão De Fertilidade Do Solo De Minas Gerais (CFSEMG), pois atingiram valores superiores a $6\text{cmol}_c\text{ dm}^{-3}$. Além disso, a ausência de alumínio trocável, juntamente com os altos teores de Ca, K e matéria orgânica, contribuíram para uma boa CTC_(T) (GRAF. 2), que, associado a valores baixos de acidez potencial (H+Al), propiciaram alta

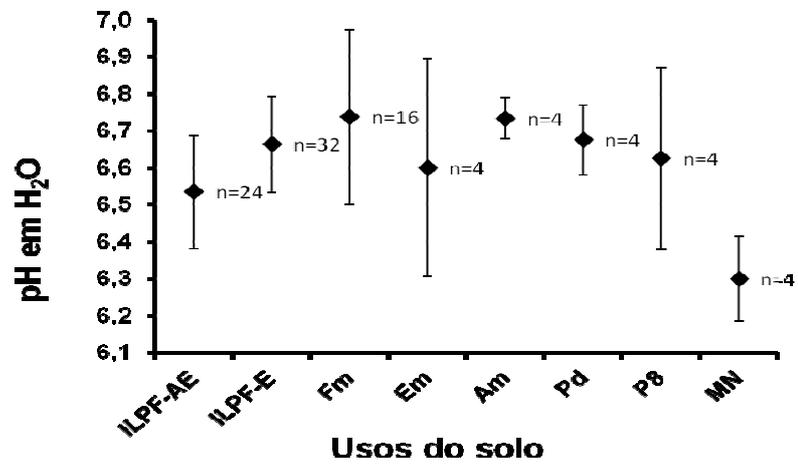
saturação por bases (V), acima de 50%, caracterizando o solo como eutrófico. De acordo com Bayer e Mieleniczuk (1999) e Silva *et al.* (2007), a CTC representa o poder de retenção dos nutrientes, favorecendo a manutenção da fertilidade por um período prolongado de tempo, e o caráter eutrófico do solo reflete uma boa reserva química, influenciando na eficiência da manutenção do equilíbrio do ecossistema. Em solos de baixa fertilidade, a influência da matéria orgânica na CTC_(T) se torna mais evidente, levando-se em conta os baixos teores de bases trocáveis.



B



C



Usos do solo

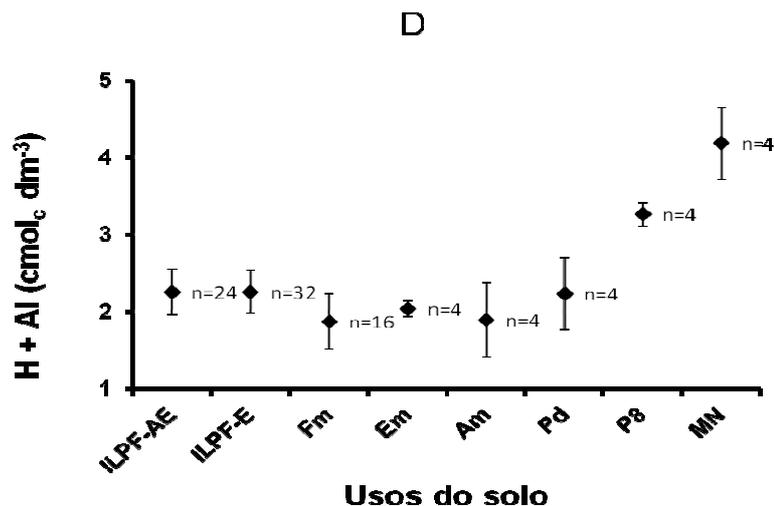


GRÁFICO 1 - Atributos químicos do solo: saturação por bases (A), soma de bases (B), pH (C) e acidez potencial (D), e Intervalos de confiança das médias testados a 5% de probabilidade pelo teste t em função dos sistemas de cultivo.

Notas: ILPF-AE = média geral do consórcio acácia+eucalipto+forrageiras, ILPF-E = média geral do consórcio eucalipto+forrageiras, Fm = média geral das forrageiras Dec (*B. decubens*), Bri (*B. brizantha*), T (*Panicum maximum*) e S (*Sorghum bicolor*); Em = monocultivo de eucalipto, Am = monocultivo de acácia, Pd = pasto de *P. maximum* degradado, P8 = pasto de *B. brizantha* com mais de 8 anos de implantação, MN = mata nativa, SB = soma de bases, CTC(T) = capacidade de troca catiônica total, V = saturação por bases, H+Al = acidez potencial.

Fonte: Do autor.

Fisher (1995) encontrou aumento dos teores de bases trocáveis no solo sob sistema agroflorestal para a maioria das espécies arbóreas utilizadas no experimento, contribuindo para melhoria da CTC, divergindo dos valores observados por Tornquist *et al.* (1999), em que as bases trocáveis foram menores em sistemas de ILPF em relação à área de pastagem.

Os teores de matéria orgânica do solo foram mais elevados nos sistemas de MN e de capim braquiarião com mais de 8 anos de uso (P8) (GRAF. 2), demonstrando que um período de 8 anos de pastagem conservada bem manejada mantém a matéria orgânica do solo em níveis semelhantes ao do solo de mata nativa. Todavia, quando a pastagem é mal manejada, há a possibilidade de rápida degradação do sistema, mesmo que as condições químicas do solo sejam preservadas (GRAF. 2). Nesse caso,

com o pisoteio excessivo, ocorre a formação de fina camada de selamento na superfície do solo, o que afeta a infiltração e o armazenamento de água, dificultando a germinação das sementes e o estabelecimento de plântulas, degradando o ambiente (VALENTIN; BRESSON, 1992; SOUZA *et al.*, 2007), como é o caso do sistema Pd. Nessas condições, pode-se fazer o revolvimento mecânico do solo e restaurar as condições físicas, porém, se o manejo adotado não levar em consideração boa cobertura do solo, o problema persistirá principalmente em solos com características semelhantes às do Argissolo usado no presente estudo.

Nas condições acima apresentadas para Pd, a dificuldade de trocas gasosas entre o solo e a atmosfera, e a maior dificuldade na infiltração de água, preservam a matéria orgânica do solo (HAMMITT; COLE, 1998), o que fez com que os teores nesse sistema fossem iguais aos dos sistemas de ILPF (GRAF. 2). Nestes últimos, com o consórcio de árvores e gramíneas, o aporte de matéria orgânica foi elevado, porém, em razão de melhores condições físico-hídricas, os processos de mineralização podem ter sido muito mais intensos, mantendo os teores similares ao do Pd. Já os monocultivos, por permitir aumento da atividade biológica do solo, a exemplo dos ILPFs, porém, com muito menor aporte de matéria orgânica, apresentaram os menores valores de matéria orgânica do solo (GRAF. 2). Fica evidente, porém, que mesmos nesses sistemas, haveria incremento da matéria orgânica do solo ao longo do tempo, conforme observado por Pignataro Netto, Kato e Goedert (2009), os quais encontraram semelhança no teor de matéria orgânica entre as áreas de pastagens implantadas há mais de 15 anos e de cerrado nativo, sendo a similaridade atribuída ao comportamento das gramíneas, que são excelentes incorporadoras de matéria orgânica no solo.

TABELA 1 - Coeficiente de correlação simples de Pearson entre os teores de matéria orgânica e Ca, Mg, H + Al, nitrogênio em Argissolo Vermelho-Amarelo.

	Variáveis	Correlação	Significância
MO	Ca	0,5725	0,069 ^{ns}
	Mg	0,3305	0,212 ^{ns}
	H + Al	0,9317	0,0004 ^{***}
	CTC _(T)	0,8085	0,0076 ^{***}
Ca	Mg	0,1904	0,3257 ^{ns}
	SB	0,9901	0,0000 ^{***}
	CTC _(T)	0,9249	0,0005 ^{***}

MO= matéria orgânica (%), Ca, Mg, SB, H + Al, e CTC_(T)= cálcio, magnésio, soma de bases, acidez potencial e capacidade de troca catiônica em (cmol dm⁻³); *** significativo a 0,1% pelo teste t, ns= não significativo a 5% de probabilidade.

Fonte: do Autor.

No caso dos monocultivos de forrageiras (GRAF. 2), o local foi utilizado para o pastejo animal e feita a remoção de toda a parte aérea de sorgo para confecção de silagem. Para Braz *et al.* (2004), em sistema de produção de forrageira protegida do pastejo, o acúmulo de material na superfície do solo (liteira) atingiria 414 e 311 kg ha⁻¹ para *B. brizantha* e *B. decumbens*, respectivamente, em um período de deposição de apenas 28 dias. Cecato *et al.* (2001) encontraram produção média de liteira em pastos de *P. maximum* de 2.179 kg ha⁻¹ de matéria seca em um período de 56 dias. Portanto, conforme exposto por Miranda (2002), o sistema fica deficitário se houver a remoção total da parte aérea para produção de silagem, ficando a contribuição das forrageiras para o incremento de matéria orgânica ao solo dependente apenas das raízes.

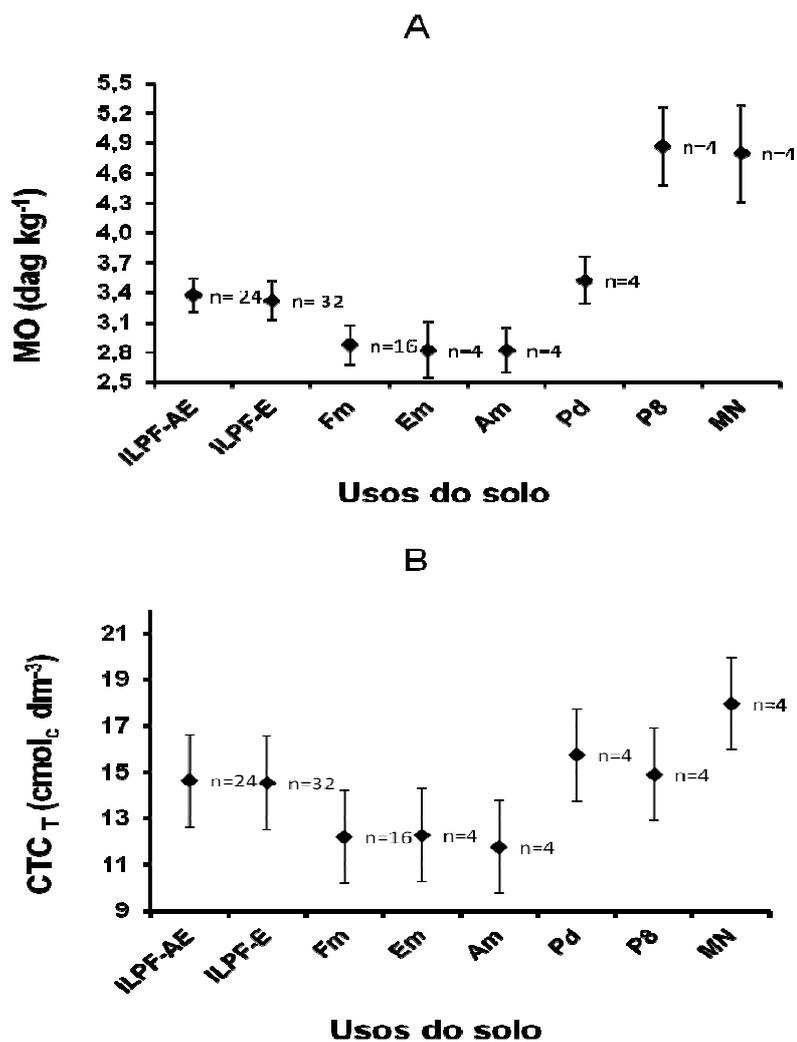


GRÁFICO 2 - Teores de matéria orgânica (A) e CTC_T (B) nos diversos usos do solo com intervalo de confiança da média a 5% de probabilidade pelo teste t.

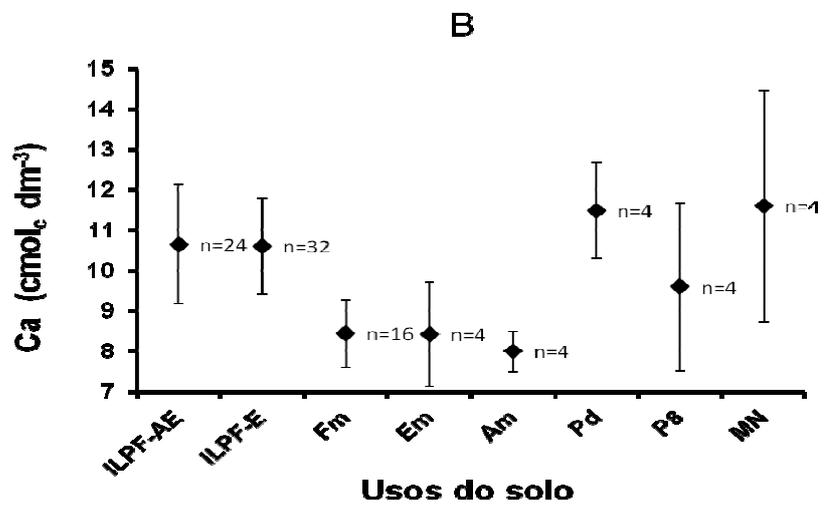
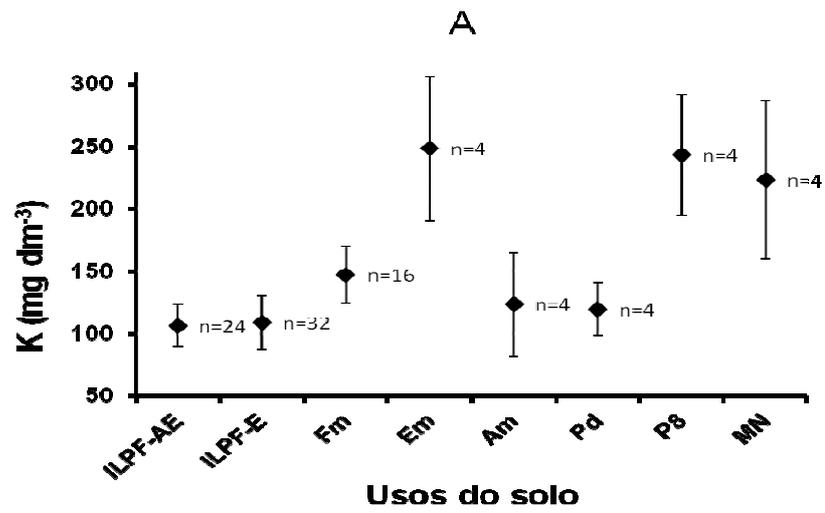
Notas: ILPF-AE = acácia+eucalipto+frrageiras, ILPF-E = eucalipto+frrageiras, Fm = monocultivos das frrageiras Dec (*B. decubens*), Bri (*B. brizantha*), T (*Panicum maximum*) e S (*Sorghum bicolor*); Em = monocultivo de eucalipto, Am = monocultivo de acácia, Pd = pasto de *P. maximum* degradado, P8 = pasto de *B. brizantha* com mais de 8 anos de implantação, MN = mata nativa; n = número de observações

Fonte: do Autor.

Em relação aos monocultivos de eucalipto e acácia, pode-se atribuir os teores menores de matéria orgânica (GRAF. 2) à característica lenhosa de

parte dos resíduos, aliada à ausência das forrageiras que contribuem na retenção de umidade e na melhoria da relação C/N da liteira, e consequentemente na formação de condições ideais para o desenvolvimento dos organismos responsáveis pela decomposição do material depositado. Entretanto, nem sempre maiores quantidades de resíduos culturais depositados resultam em maior acúmulo de matéria orgânica no solo. O balanço de nitrogênio no sistema é determinante crucial na acumulação de matéria orgânica sob sistema de plantio direto, sendo que, para acumular 1 Mg ha⁻¹ de C no solo na forma de matéria orgânica, são necessários pelo menos 80 kg ha⁻¹ de N (ALVES *et al.*, 2002; SISTI *et al.*, 2004). Radomski & Ribaski (2012) relatam que nas proximidades das linhas das árvores, onde o sombreamento é maior, a quantidade de nutrientes permanece na serapilheira, por causa da presença de material mais lenhoso e baixa intensidade luminosa, o que dificulta o processo de decomposição.

Com relação às áreas de implantação de ILPF, conforme comentado, a reposição de matéria orgânica foi mais eficiente em razão da integração das árvores com as forrageiras, apesar do reduzido tempo de implantação do sistema, de apenas dois anos. Alguns autores observaram incremento dos teores de matéria orgânica no solo em sistemas de integração em períodos de quatro anos (FISHER, 1995) ou cinco anos (SILVA *et al.*, 2011). Braz *et al.* (2004), analisando o carbono orgânico do solo em pastagens de braquiária, em sistemas com 5 e 18 anos de uso contínuo, constataram que foi maior do que da mata nativa do cerrado, enquanto Menezes *et al.* (2008) verificaram que a matéria orgânica do solo não diferiu entre sistemas agroflorestais com 5 anos de implantação em relação à mata nativa.



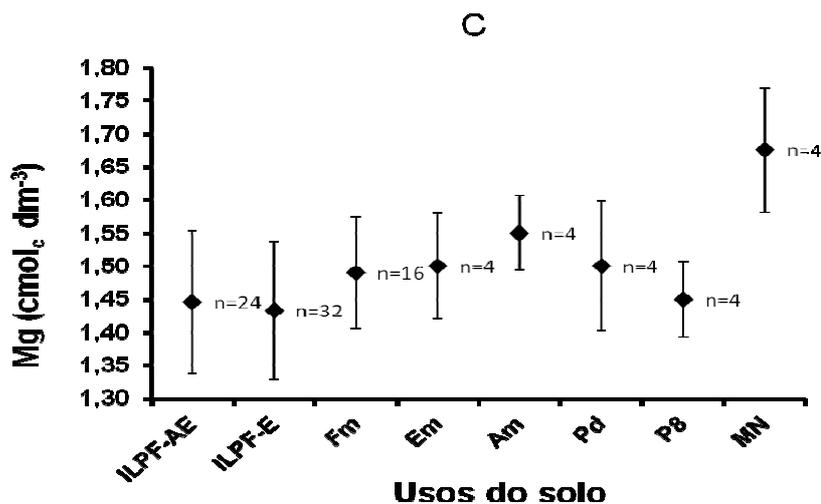


GRÁFICO 3 - Macronutrientes no solo: potássio (A), cálcio (B) e magnésio (C), e Intervalos de confiança das médias em função dos sistemas de cultivo a 5% de probabilidade pelo teste t.

ILPF-AE = consórcio acácia+eucalipto+forrageiras, ILPF-E = consórcio eucalipto+forrageiras, Fm = monocultivos das forrageiras Dec (*B. decubens*), Bri (*B. brizantha*), T (*Panicum maximum*) e S (*Sorghum bicolor*); Em = monocultivo de eucalipto, Am = monocultivo de acácia, Pd = pasto de *P. maximum* degradado, P8 = pasto de *B. brizantha* com mais de 8 anos de implantação, MN = mata nativa.
Fonte: do Autor.

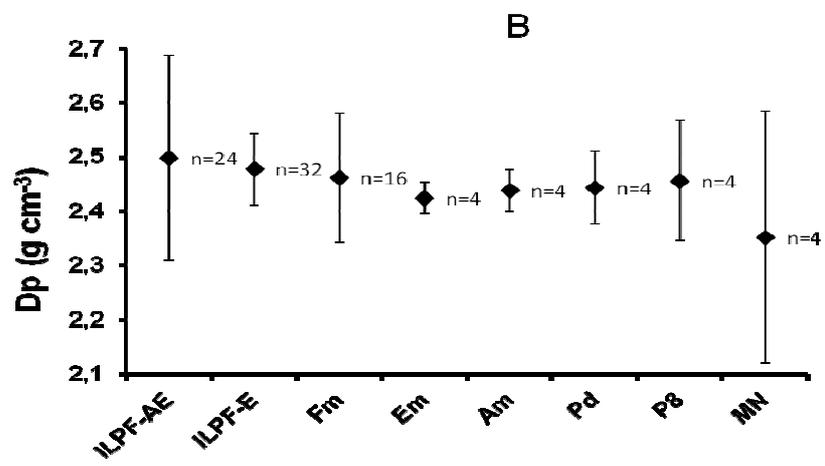
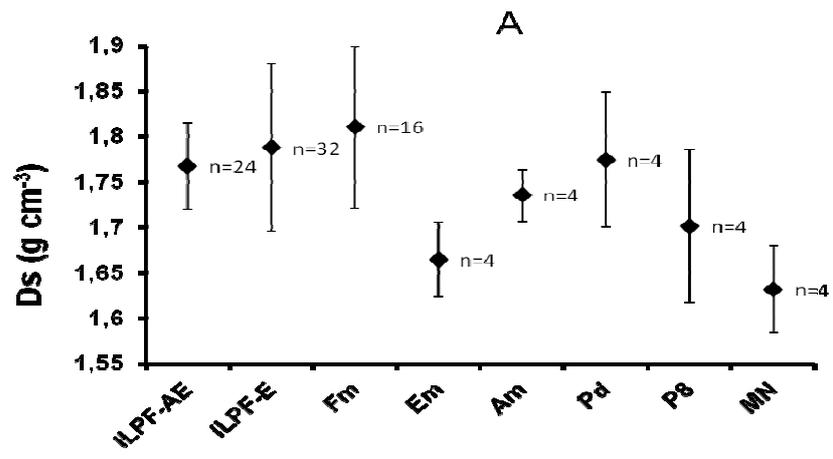
Os teores de Ca foram influenciados pelos diferentes usos do solo (GRAF. 3), sendo que houve diminuição significativa dos valores desse nutriente nas áreas de monocultivo, Fm, Em e Am em relação ao pasto degradado Pd, divergindo das observações de Silva (1994), ao avaliar sistemas com 14 anos de implantação. Randomski; Ribaski (2012), em sistema com 22 anos, encontraram aumento de K e Ca próximos das árvores nos locais de consórcio entre *Grevilia robusta* e *Cynodom plectostachyus*. Os autores relatam que essa contribuição se deve à deposição de resíduos das árvores e de animais, que utilizam os locais mais sombreados durante o pastejo, os quais contribuem mais com Ca e P. Os níveis mais altos de Ca e Mg ocorreram mais frequentemente nos sistemas agroflorestais seguidos pelos pastos e mata nativa, e permaneceram assim mesmo após 10 anos (ALFAIA, 2004).

A boa fertilidade natural do solo em estudo, em razão de estar em área cárstica, é evidenciada pela sua riqueza em bases trocáveis, principalmente o cálcio. Ressalta-se, porém, que a alta concentração desse elemento em relação ao magnésio, que é superior a 4:1, causaria desequilíbrio nas plantas.

4.2 Atributos físicos do solo

Os atributos físicos do solo em diferentes sistemas de cultivo e uso das áreas são apresentados nos GRAF. 4 e 5, sendo que, em geral, não foram observadas variações no solo em função dos cultivos avaliados.

A determinação da densidade do solo permite inferir sobre algumas propriedades, como drenagem, porosidade e permeabilidade, e fornece informações acerca da relação solo-planta, principalmente no que se refere ao comportamento das raízes, e qual influência em seu desenvolvimento (KIEHL, 1979). Os resultados encontrados para a densidade do solo nos sistemas ILPF-AE, ILPF-E, Fm, e Pd estão acima da faixa limite de $1,75 \text{ g cm}^{-3}$, proposto por Reinert *et al.* (2008) em Argissolo Vermelho, para o normal crescimento das raízes. Valores de densidade acima desse limite afetam a penetração e a emergência de sementes germinadas. Como consequência dessa alta densidade, a porosidade total apresentou baixos valores em todos os tratamentos, inclusive na MN.



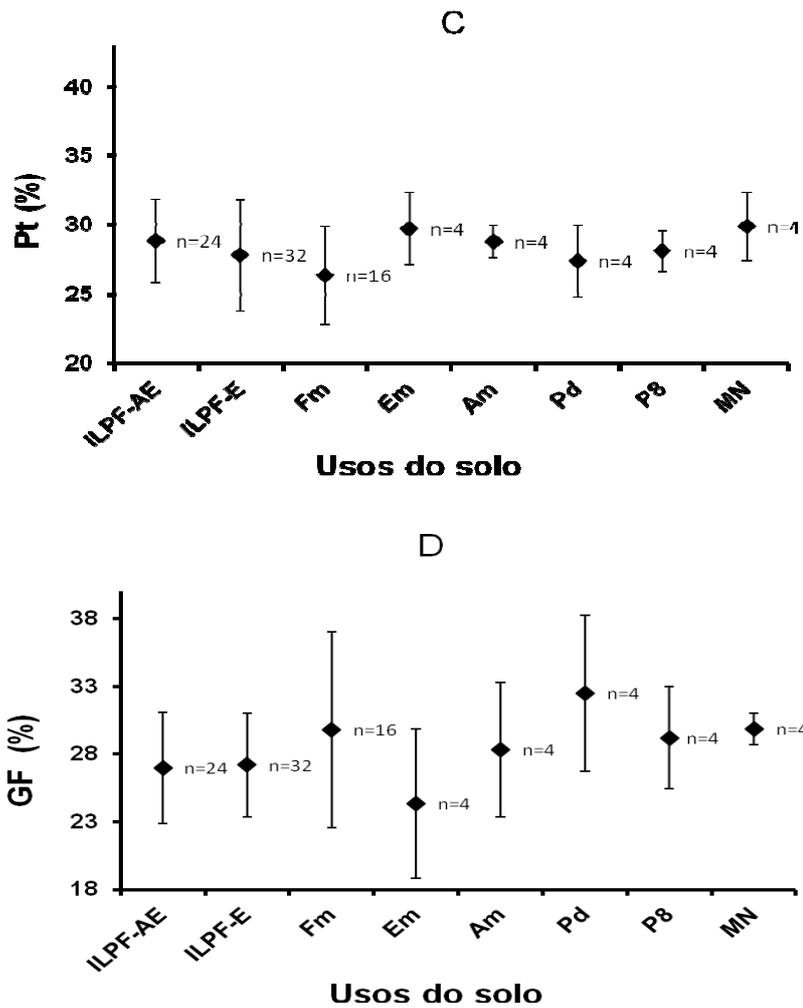


GRÁFICO 4 - Atributos físicos do solo: densidade aparente (A), densidade de partículas (B), porosidade total (Pt) e grau de flocculação (D), e intervalos de confiança das médias a 5% de probabilidade pelo teste t em função dos sistemas de cultivo.

Notas: ILPF AE = consórcio acácia+eucalipto+forrageiras, ILPF E = consórcio eucalipto+forrageiras, Fm = monocultivos das forrageiras Dec (*B. decubens*), Bri (*B. brizantha*), T (*Panicum maximum*) e S (*Sorghum bicolor*); Em = monocultivo de eucalipto, Am = monocultivo de acácia, Pd = pasto de *P. maximum* degradado, P8 = pasto de *B. brizantha* com mais de 8 anos de implantação, MN = mata nativa; Ds= densidade aparente, Dp= densidade de partículas, Pt= porosidade total.

Fonte: do Autor.

Reinert *et al.* (2008) observaram que há crescimento normal de raízes até o limite de $1,75 \text{ g cm}^{-3}$ em Argissolo Vermelho para plantas de cobertura, como feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), sendo que, em valores acima desse limite, até $1,85 \text{ g cm}^{-3}$, ocorre restrição, com deformações na morfologia das raízes em grau médio e, acima de $1,85 \text{ g cm}^{-3}$, essas deformações são significativas, com grande engrossamento, desvios no crescimento vertical e concentração na camada mais superficial. O adensamento do solo nesses níveis diminui consideravelmente os espaços porosos, comprometendo a oxigenação do solo e criando ambiente mais propício ao desenvolvimento de bactérias anaeróbias (HAMMITT; COLE, 1998).

Fisher (1995), utilizando área de pasto degradado abandonado, reflorestou com árvores nativas do local, e em um período de 4 anos após o plantio, observou que os níveis de densidade diminuíram significativamente no solo em 8 das 11 espécies escolhidas para o experimento. Silva *et al.* (2011), avaliando a densidade de um Luvisolo em sistemas de ILPF, manejo convencional e vegetação natural por um período de 8 anos, observaram que os sistemas de ILPF melhoraram ou mantiveram a qualidade física do solo quando comparados à vegetação nativa, e que o mesmo nível de qualidade física do solo não foi observado para o sistema de manejo convencional. Tornquist *et al.* (1999), em um período de 5 anos, não encontraram diferença na densidade aparente entre sistema agroflorestal e pastos.

Quanto à porosidade total, seus valores só podem ser influenciados pela variação da densidade aparente do solo nos diversos manejos, e essa variação está relacionada aos atributos inerentes a cada tipo de solo (SILVA; KAY; PERFECT, 1997). Como os resultados encontrados para a densidade do solo foram estatisticamente iguais, à exceção da MN, que foram mais baixos, explica os resultados encontrados para o volume de poros dos solos dos sistemas estudados. A porosidade total de um solo ideal para o desenvolvimento das plantas deve ser de $0,50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, sendo a distribuição de poros por tamanho representado por 1/3 de macroporos e 2/3 de microporos (KIEHL, 1979).

Não foram identificadas diferenças significativas entre os sistemas estudados, concordando com Silva *et al.* (2011) em estudo na caatinga com sistemas agroflorestais e silvopastoril com 8 anos de implantação, os quais mostram que o sistema melhorou ou manteve a qualidade física do solo comparados com a mata nativa, e divergindo de Matias (2003), que detectou mudanças na porosidade e densidade aparente do solo para os sistemas de mata, eucalipto e pastagem; de Oliveira (2008), que encontrou valores distintos para os sistemas avaliados, SAFs com 7 anos de implantação, pasto com 18 anos e floresta preservada, sendo os valores de densidade do solo mais elevados para a pastagem, principalmente na camada de 0-5 cm, e Carvalho, Goedert e Armando (2004), que encontraram em solo sob sistema agroflorestal com 6 anos valores diferentes dos apresentados em solo sob sistema de plantio convencional, sendo que os solos apresentaram menor densidade aparente, maior porosidade e maior estabilidade de agregados.

Os resultados obtidos neste experimento estariam relacionados ao tempo reduzido de implantação do experimento, insuficiente para observar mudanças nos atributos físicos do solo, pois resultados benéficos decorrentes da implantação dos sistemas de integração executados dentro da técnica e de acordo com as necessidades do local começam a ser perceptíveis a médio e longo prazo (DIAS FILHO, 2006). A percepção de diferenças significativas nos atributos físicos e químicos e na atividade biológica do solo mostra que o espaço de tempo é fator que pode variar, relacionado ao nível de degradação do solo, tipo de manejo escolhido e condições climáticas (TORNQUIST *et al.*, 1999; FRANCO; RESENDE; CAMPELLO, 2003). Convém destacar que as alterações físicas que ocorrem em solos influenciariam a maioria dos fenômenos importantes que ocorrem no substrato, incluindo a quantidade de calor, água e gases transportados, e resistência mecânica (PEREIRA *et al.*, 2010).

O grau de floculação não apresentou diferenças entre os tratamentos e foram considerados baixos, (GRAF. 4), demonstrando tendência à desestabilização da estrutura do solo frente aos processos de manejo. De maneira geral, os altos valores de argila dispersa em água e consequentes

baixos valores de grau de flocculação da argila estariam relacionados à presença de teores mais altos de matéria orgânica em todos os tratamentos. Isso ocorre em decorrência do aumento de cargas negativas presentes na superfície dos compostos orgânicos, o que contribui para a dispersão da argila. Benites e Mendonça (1998) constataram que o uso de ácido húmico favoreceu as condições físicas de solos eletropositivos, reduzindo a dispersão de argilas. Todavia, relatam que a matéria orgânica pode apresentar efeito dispersivo ou agregante, de acordo com sua quantidade e qualidade. Além disso, os Argissolos Vermelhos Amarelos são solos tipicamente caulínicos (MOTA; OLIVEIRA; GEBHARDT, 2002) e dispersivos (SETA; KARATHANASIS, 1997). Some-se a isso o pH do solo próximo à neutralidade, o que faz com que haja desprotonação das cargas variáveis, com consequente aumento das cargas negativas, resultando na dominância de forças repulsivas sobre as bordas da caulinita (ROTH; PAVAN, 1991). Esse fato é muito comum em solos ácidos quando se faz calagem, conforme observado por Albuquerque *et al.* (2003).

A estabilidade de agregados é um indicador dos processos envolvidos no solo, pois está relacionada aos índices de matéria orgânica e conseqüentemente à degradação do solo (TIPPKÖTTER, 1994; DUFRANC, 2004). Em solos em que houve a fragmentação excessiva dos agregados podem ocorrer o selamento e encrostamento superficial, aumentando as taxas de escoamento e diminuindo a permeabilidade do solo (DERPSCHT *et al.*, 1991). Com isso, prejudicam-se os processos de estabelecimento das plantas pela inibição da germinação e crescimento das plantas (GARDNER; LARYEA; URGER, 1999; KOZLOWSKI *et al.*, 1999).

Os resultados de diâmetro médio ponderado dos agregados (GRAF. 5) indicam boa estabilidade frente aos processos erosivos, pois as médias de todos os tratamentos, com exceção de P8, encontram-se próximas ao valor de 2mm, admitido por Ângulo, Roloff e Souza (1984) como o limite para solos estáveis.

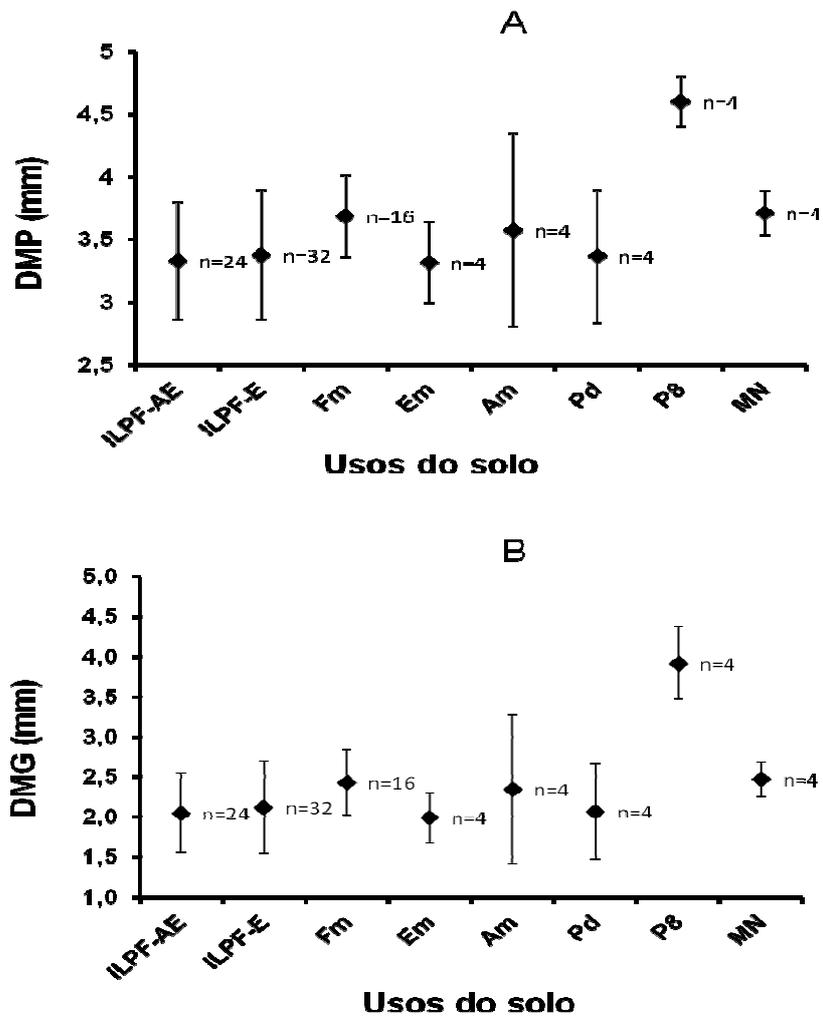
Foi observada diferença significativa de P8 em relação a todos os outros tratamentos, o que estaria relacionado ao maior teor de matéria orgânica apresentado por esse tratamento. Somam-se a isso a liberação de exsudados radiculares e a formação, morte e decomposição de raízes finas, que conferem às gramíneas a qualidade de excelentes estruturadoras do solo (MARTINS, 2002).

Neves *et al.* (2007) e Silva, Silva e Ferreira (2005), estudando sistemas agrossilvopastoris em Latossolo Vermelho, obtiveram resultados semelhantes de DMG, que variaram de 3,29 a 4,43 mm, bem acima aos encontrados nesse estudo, sendo o maior valor referente ao cerrado nativo, o que diverge do presente trabalho, em que foram encontrados valores bem abaixo, de 2,47 mm. No entanto, os resultados de DMG deste trabalho para o pasto de *Brachiaria brizantha* com 8 anos de implantação e os encontrados por Neves *et al.* (2007) para consórcio de eucalipto com a mesma forrageira foram semelhantes (GRAF. 5).

Os bons valores de DMP e DMG tiveram reflexo positivo no índice de estabilidade de agregados (IEA), sendo que, quanto maior o índice, maior a proporção de agregados maiores que 0,25 mm, maior a resistência frente aos processos erosivos, maior a capacidade do solo em proporcionar condições satisfatórias de trocas gasosas, maior a infiltração de água. Apresentaram alta correlação positiva com a matéria orgânica do solo, com $r = 0,7995$ (teste de correlação de Pearson, com nível de significância a 1% pelo teste T). Udawatta *et al.* (2008) encontraram diferença significativa de estabilidade de agregados do solo entre os sistemas agroflorestal e forrageira para o monocultivo de milho e feijão com oitos anos de implantação. Lenka *et al.* (2012) implantaram um sistema horti-silvi-pastoril em área degradada e, após um período de 6 anos, observaram que os macroagregados ($>250 \mu\text{m}$) foram maiores em proporção e continham maiores níveis de carbono orgânico, além de manterem o solo mais úmido, mostrando o potencial de reabilitação do solo nesses sistemas.

A estabilidade de agregados do solo, além de apresentar relação direta com os níveis de matéria orgânica do solo, pode ter relação com os teores de

ferro, alumínio, cálcio e magnésio (CASTRO FILHO; MUZILLI; PADANOSCHI, 1998; GANG *et al.*, 1998; OPARA, 2009). Os agregados seriam afetados em locais de lavoura ou pastagem em que foi feita a colheita, deixando o solo exposto ao impacto da chuva e mudanças de temperatura, além de conferir maiores taxas de decomposição de matéria orgânica nesses locais (AWADHWAL, 1997).



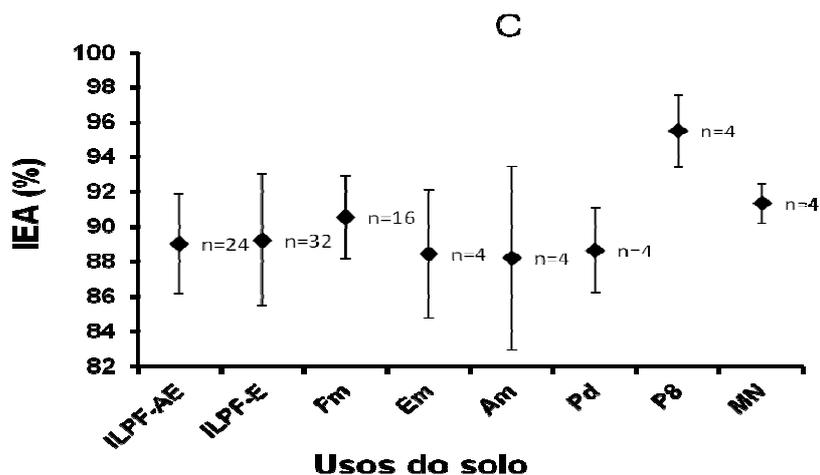


GRÁFICO 5 - Diâmetro médios ponderado (A), diâmetro médio geométrico (B) e índice de estabilidade de agregados do solo (C), e intervalos de confiança das médias a 5% de probabilidade pelo teste t em função dos sistemas de cultivo

Notas: ILPF-AE= consórcio acácia+eucalipto+frrageiras, ILPF-E= consórcio eucalipto+frrageiras, Fm = monocultivos das frrageiras Dec (*B. decubens*), Bri (*B. brizantha*), T (*Panicum maximum*) e S (*Sorghum bicolor*); Em = monocultivo de eucalipto, Am = monocultivo de acácia, Pd = pasto de *P. maximum* degradado, P8 = pasto de *B. brizantha* com mais de 8 anos de implantação, MN = mata nativa, DMP= diâmetro médio ponderado; DMG= diâmetro médio geométrico; IEA= índice de estabilidade de agregados

Fonte: do Autor.

5 CONCLUSÃO

- Comparados à mata nativa, a sistemas de pastagens conservadas e a sistemas de ILPF, os teores de matéria orgânica e de cálcio do solo são menores em monocultivos de eucalipto, acácia e frrageiras.

- Em sistemas de ILPF não há mudanças significativas na estabilidade de agregados, na densidade aparente e na porosidade do solo aos 27 meses de sua implantação.

- Em curto período de tempo, as variáveis matéria orgânica e cálcio se mostram como possibilidade de uso para avaliação de sistemas de ILPF.

CAPÍTULO 3 - CARBONO, NITROGÊNIO, FÓSFORO E ATIVIDADE MICROBIANA DO SOLO EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA

RESUMO

Os sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta são importante estratégia de recuperação de pastagens degradadas, pois aumentam a biodiversidade, a cobertura do solo e retenção de umidade, promovendo ambientes propícios para maior atividade microbiana que efetuam a ciclagem de nutrientes, disponibilizando-os às plantas. O experimento foi conduzido no ICA/UFMG em Montes Claros – MG, em Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico, e teve como objetivo avaliar os teores de carbono orgânico, nitrogênio, fósforo e atributos microbiológicos em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) em comparação com outros usos do solo. No estudo foram avaliados dois sistemas de ILPF, (acácia + eucalipto) e (eucalipto), consorciados com forrageiras utilizadas em monocultivos, monocultivos de acácia (*Acacia mangium*), eucalipto (*Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*), e das forrageiras: *Brachiaria brizantha*, *Brachiaria decumbens*, *Sorghum bicolor* e *Panicum maximum*, com variações de cultivo em 3 ciclos agrícolas em período de 3 anos, em comparação à mata nativa, pastagem de *Brachiaria brizantha* com mais de 8 anos de atividade e pastagem degradada de *Panicum maximum* com áreas de solo exposto. Apesar de não diferirem estatisticamente, a atividade microbiana nos tratamentos apresentou melhores resultados quando esteve próxima da relação C:N de 10:1 no solo. Os teores de matéria orgânica e de nitrogênio influenciaram a atividade microbiana, proporcionando maior biomassa.

Palavras-chave: SAF. Conservação solo. Áreas degradadas. Recuperação ambiental. ILPF.

CHAPTER 3 - CARBON, NITROGEN, PHOSPHORUS AND SOIL MICROBIAL BIOMASS IN INTEGRATED CROP LIVESTOCK - FOREST

ABSTRACT

The integrated crop - livestock - an important strategy for forest reclamation, since they increase biodiversity, soil cover and moisture retention, promoting enabling environments for increased microbial activity effecting the cycling of nutrients making them available the plants. The experiment was conducted at the ICA / UFMG in Montes Claros - MG, in Red Yellow Argisol, and aimed to evaluate the contents of organic carbon, nitrogen, phosphorus and microbiological attributes in integrated crop-livestock-forest (ICLF) in compared to other uses of land. The study evaluated two systems of ICLF's, (acacia + eucalyptus) and (eucalyptus) intercropped with forage also used in monocultures, monocultures of acacia (*Acacia mangium*), eucalyptus (*Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*), and forage: *Brachiaria brizantha*, *Brachiaria decumbens*, *Sorghum bicolor*, *Panicum maximum*, with variations of agricultural cultivation in 3 cycles in period of 3 years, compared to native forest, *Brachiaria brizantha* with over 08 years of activity and degraded pasture of *Panicum maximum* with areas exposed soil. Although not statistically differ microbial activity in treatments showed better results were similar when the C: N ratio of 10:1 in the soil. The content of organic matter and nitrogen influence the microbial activity and thus resulted in a higher growth of its biomass. The phosphorus did not influence the microbiological attributes, for not having limiting content of this element.

Keywords: Agroforestry. Soil conservation. Degraded areas. Environmental restoration. Microbial biomass and respiration. ICLF.

1 INTRODUÇÃO

A diversidade da vegetação e das condições ambientais determina a quantidade e a qualidade dos resíduos depositados no solo e promove um ambiente heterogêneo rico em nutrientes, no qual ocorrem abundantes macrofauna e microfauna (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). O estudo da atividade microbiana forneceria subsídios importantes para o planejamento do uso correto da terra, considerando a natureza dinâmica dos microrganismos do solo (D'ANDRÉA *et al.*, 2002), ou forneceria informações importantes sobre a sustentabilidade de práticas de manejo e de cultivo.

A atividade microbiana está envolvida com a decomposição e o acúmulo de matéria orgânica, e as transformações envolvendo os nutrientes minerais no solo e, por atuarem nos processos de mineralização e imobilização, os microrganismos do solo são considerados fonte e dreno de nutrientes (SINGH *et al.*, 1989). Porém, as comunidades microbianas são igualmente influenciadas por fatores como culturas de cobertura e manejo do solo (CARRERA *et al.*, 2007; FERREIRA *et al.*, 2010), fase de desenvolvimento de plantas e cultivares (Ferreira *et al.*, 2008), tipo de fertilizante e sua forma de aplicação (CARRERA *et al.*, 2007), e aplicação de agrotóxicos (FERREIRA *et al.*, 2009). Alterações na atividade microbiana são relatadas em função do ciclo das plantas, da adição de resíduos vegetais e dos sistemas de preparo do solo e rotação de culturas (BALOTA *et al.*, 1998; FRANCHINI *et al.*, 2007; FERREIRA *et al.*, 2010), consideradas respostas rápidas e com potencial de prognóstico da sustentabilidade de práticas agrícolas.

Fatores do solo, como os nutrientes, alterariam a atividade microbiana e sua relação com os ciclos de carbono e nitrogênio. Essas condições afetam significativamente as propriedades do solo, o nitrogênio mineral, o carbono orgânico, a biomassa microbiana e sua taxa de respiração basal, comprometendo os processos de decomposição da matéria orgânica (ZHAO *et al.*, 2010).

A limitação de nitrogênio é frequentemente estabelecida quando o substrato apresenta estoques baixos desse nutriente, e quando a competição com as plantas por sua forma mineral se intensifica. A competição ocorre principalmente quando grande parte da comunidade microbiana não assimila o nitrogênio orgânico, de modo que o N mineral é utilizado (MANZONI; PORPORATO, 2007).

A dinâmica do fósforo no solo é igualmente influenciada pela ação dos microrganismos que atuam no sentido de favorecer a aquisição e de indisponibilizá-lo às plantas. E quanto mais pobre em P disponível for o sistema, maior será a dependência das formas orgânicas, inclusive do P armazenado na biomassa microbiana (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). De acordo com Stevenson (1986), esse elemento tem forte influência na imobilização de C e N em sistemas biológicos, e o acúmulo de C, N, P e S na matéria orgânica depende do conteúdo de P no material de origem, exercendo, portanto, influência na fertilidade do solo.

O desenvolvimento dos microrganismos que atuam efetivamente na ciclagem de nutrientes e funcionam como indicadores qualitativos de solos é favorecido por sistemas agroflorestais, pois a contribuição destes se faz no fornecimento de maior aporte de matéria orgânica e retenção de umidade no solo. Os sistemas agroflorestais são estudados como alternativa de produção associados a práticas conservacionistas (PACIULLO *et al.*, 2011), de forma a simular as características dos ecossistemas naturais (TORNQUIST *et al.*, 1999), e são considerados sustentáveis aqueles que notadamente melhoram as propriedades químicas, físicas e microbiológicas do solo (TORNQUIST *et al.* 1999; BARRETO *et al.*, 2006).

A avaliação da atividade microbiana em função das suas características químicas e de uso do solo forneceria informações importantes sobre a potencialidade dos sistemas de ILPF em comparação com monocultivos de forrageiras, árvores e em ambientes naturais.

2 OBJETIVO

Avaliar os teores de carbono, nitrogênio, fósforo e atributos microbiológicos do solo nos sistemas consorciados de integração lavoura-pecuária-floresta e em monocultivos implantados em área de pastagem degradada.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em área de Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico do ICA/UFMG, em Montes Claros, MG, nas coordenadas 16°40'3.17" S e 43°50'40.97" W, a 598 metros de altitude (FIG. 1). Segundo a classificação de Köppen, o clima regional é do tipo Aw - Tropical de Savana, caracterizado por temperaturas anuais elevadas e regime de chuvas, com verão chuvoso e inverno seco.

Foram avaliados os seguintes usos do solo: mata nativa (MN); pasto de braquiarião com mais de 8 anos de implantação (P8); pastagem degradada (Pd), (QUADRO 1), onde em parte foi feita a implantação de sistemas ILPF; e monocultivos de forrageiras e de árvores descritos na FIG. 2 e QUADRO 1. Os tratamentos testados com as espécies forrageiras, *Sorghum bicolor*, *Brachiaria decumbens*, *Brachiaria brizantha* e *Panicum maximum* foram implantados em 3 ciclos distintos, nos anos de 2008 e 2009 (1º ciclo), 2009 e 2010 (2º ciclo) e 2010 e 2011 (3º ciclo). Cada tratamento teve 4 repetições.

Os tratamentos culturais das áreas de monocultivo seguiram as recomendações agronômicas das culturas envolvidas. O plantio do sorgo e das forrageiras ocorreu em semeadura direta na palha, após prévia dessecação com herbicida à base de glyphosate, independentemente do ciclo agrícola. A adubação de plantio do sorgo em monocultivo e na ILPF aconteceu com a formulação 06-30-06 (N-P-K) na dose de 300 kg ha⁻¹ e adubação de cobertura de 80 kg ha⁻¹ de nitrogênio, com sulfato de amônio.

O plantio das mudas de eucalipto e acácia foi feito em dezembro de 2008, em covas redondas de 40 cm de diâmetro, previamente adubadas com 100g de superfosfato simples. Após 15 dias do plantio das árvores, houve adubação, utilizando-se 18 g/cova de boro e 100g/cova da fórmula 4-30-10 (NPK). Aos 90 e 150 dias após o transplante (DAT) das mudas de eucalipto e de acácia, ocorreu adubação de cobertura com 150g/planta de KCl e, aos 270 DAT, com 100 g/planta da fórmula 10-30-10 (N-P-K), como adubação de reforço.



FIGURA 1 - Foto de satélite da área experimental

Notas: MN = mata nativa; P-8 = pastagem com mais de 8 anos de implantação; PD = pastagem degradada; Em = monocultivo de eucalipto; Am = monocultivo de acácia; S = sorgo, Bri = braquiarião; T = Tanzânia; Dec = braquiariinha; ILPF = integração-lavoura-pecuária-floresta com eucalipto e acácia intercalada com eucalipto na linha de árvores nos diversos sistemas de consórcio com forrageiras e feijão em 3 ciclos de cultivo.

Fonte: Adaptado de "Google maps". Disponível em: www.maps.google.com.br

QUADRO 1 - Descrição dos sistemas de uso, ocupação e cultivo do solo do experimento

USO DO SOLO	DESCRIÇÃO
	INTEGRAÇÃO LAVOURA PECUÁRIA FLORESTA (cultivo na entrelinha nos três ciclos)
¹ ILPF - AE Acácia + Eucalipto (10x2m)	sorgo + braquiariinha (1 ^o e 2 ^o ciclos); feijão-catador + feijão-de-porco + braquiariinha (3 ^o ciclo)
	sorgo + capim braquiaraõ (1 ^o e 2 ^o ciclos); feijão-catador + feijão-de-porco + braquiaraõ (3 ^o ciclo)
	sorgo + capim tanzânia (1 ^o e 2 ^o ciclos); feijão-catador + feijão-de-porco + tanzânia (3 ^o ciclo)
² ILPF – E Eucalipto (10x2m)	sorgo + braquiariinha (1 ^o e 2 ^o ciclos); feijão-catador + feijão-de-porco + braquiariinha (3 ^o ciclo)
	sorgo + capim braquiaraõ (1 ^o e 2 ^o ciclos);); feijão-catador + feijão-de-porco + braquiaraõ (3 ^o ciclo)
	sorgo + capim tanzânia (1 ^o e 2 ^o ciclos); feijão-catador + feijão-de-porco + tanzânia (3 ^o ciclo)
	Sorgo
	MONOCULTIVOS
	Sorgo
³ Fm	Capim-braquiariinha
	Capim-braquiaraõ
	Capim-Tanzânia
Em	eucalipto clonal (<i>Eucalipto urophylla</i> x <i>E. grandis</i>), plantado no espaçamento 3x2m.
Am	<i>Acacia mangium</i> , plantada no espaçamento 3x2m.
	DEMAIS USOS DA TERRA
Pd	Área de pasto degradado, capim-Tanzânia
P8	Pastagem de braquiaraõ com mais de 8 anos de formada, sem aporte de nutrientes e corretivos, com manejo extensivo dos animais.
MN	Mata Nativa
	1 = amostra composta das três parcelas do consórcio (acácia + eucalipto + forrageiras) por bloco; 2 = amostra composta das quatro parcelas do consórcio (eucalipto + forrageiras) por bloco; 3 = cada forrageira foi considerada uma repetição;

O eucalipto e a acácia foram cultivados em monocultivo em área de 450 m², com espaçamento de 3x2 m, totalizando 1.666 árvores/ha. Nas parcelas em consórcio com sorgo e forrageiras, o eucalipto e/ou, acácia + eucalipto foram cultivados no espaçamento de 10x2 m, totalizando 500 árvores/ha.

As forrageiras foram semeadas a lanço na superfície do terreno em todos os ciclos de cultivo, utilizando-se 6 kg ha⁻¹ de sementes puras e viáveis, imediatamente antes do plantio do sorgo. Houve a semeadura do sorgo, distribuindo oito sementes por metro linear e espaçamento de 0,5m entre fileiras, respeitando-se 1,0 m de distância das linhas das árvores, sendo utilizado o cultivar BRS 610 recomendado para silagem.

A adubação utilizada na semeadura do sorgo foi de 300 kg ha⁻¹ da fórmula 4-30-10 (NPK), e aos 30 dias após a sua emergência aplicaram-se 80 kg ha⁻¹ de N em cobertura, utilizando-se o sulfato de amônio. No período correspondente ao plantio das espécies forrageiras e do sorgo até a sua colheita para silagem toda a área de ILPF e de monocultivo de forrageiras, sorgo e árvores foi irrigada por aspersão, sempre que necessário, com lâmina de água diária de 5,0 mm.

As coletas ocorreram em abril de 2011, 27 meses após a implantação dos consórcios do primeiro ciclo para avaliação de matéria orgânica e fósforo. Em cada parcela foram feitas amostras compostas de solo, a partir de 4 coletas simples, na profundidade de 0 a 20 cm.

As coletas para avaliações da atividade microbiana e nitrogênio ocorreram em outubro de 2012, 45 meses após a implantação dos consórcios do primeiro ciclo. Em cada parcela foram feitas amostras compostas de solo, a partir de 4 coletas simples, na profundidade de 0 a 10 cm, foram armazenadas a 4°C (WARDLE, 1992) até o dia seguinte, quando se iniciaram as análises de nitrogênio total e dos atributos microbiológicos do solo. As amostras de solo foram destorroadas e passadas em peneira de 2 mm de malha, homogeneizadas, retirando-se as raízes e resíduos visíveis de plantas e animais do solo. Para análises de nitrogênio total, matéria orgânica e fósforo, seguiu-se metodologia preconizada por EMBRAPA (1997).

Na avaliação da taxa respiratória, utilizou-se o método respirométrico de avaliação do C-CO₂ evoluído do solo, no qual amostras de 100 g de solo peneirado e com umidade correspondente a 60% da capacidade de campo foram incubadas durante 15 dias em frascos hermeticamente fechados. O C-CO₂ liberado do solo foi capturado por uma solução de 20mL de NaOH 0,25 mol L⁻¹. De três em três dias, por 15 dias, estimou-se o C-CO₂ evoluído a partir da titulação de 10 mL da solução de NaOH, acrescido de 3 gotas de fenolftaleína, com solução de HCl 0,5 mol L⁻¹, preenchendo-se novamente os frascos com 20 mL de solução de NaOH 0,25 mol L⁻¹.

Para controle da qualidade do ar carreado utilizaram-se frascos sem solo como amostras "branco". Após o período de incubação, foram tomados 19g de solo de cada frasco para determinação do carbono da biomassa microbiana (CBM), seguindo metodologia descrita por Vance, Brookes e Jenkinson (1987) e modificada por Islam e Weil (1998), no qual as amostras foram tratadas com radiação de micro-ondas por tempo previamente calculado (60 + 60 seg.).

O CBM foi extraído das amostras (irradiadas e não irradiadas) de solo com 50 mL da solução de K₂SO₄ 0,5 mol L⁻¹ e em seguida submetidas à agitação por 30 min, em mesa agitadora horizontal, permanecendo em repouso durante mais 30 m. Após o repouso, as amostras foram filtradas em filtros de papel Whatman n° 42. Em tubo digestor, adicionaram-se 10mL do filtrado, 2mL de solução de K₂Cr₂O₇ 0,0667 mol L⁻¹ e 10 mL de H₂SO₄ concentrado. Posteriormente ao resfriamento, o volume da solução foi completado para 100 mL em proveta calibrada, sendo transferido para frascos erlenmeyers de 250 mL, adicionando-se o indicador ferroim (oito gotas) para ser titulado com solução 0,033 mol L⁻¹ de (NH₄)₂Fe(SO₄)₂ até mudança da cor para vermelho-vítreo.

A partir dos valores obtidos da evolução do C-CO₂ e CBM ($\mu\text{g C-CO}_2$ e μg^{-1} CBM d^{-1}), calcularam-se o quociente metabólico ($q\text{CO}_2$), dividindo-se a média diária do C-CO₂ evoluído do solo pelo CBM determinado no solo; e o quociente microbiano ($q\text{MIC}$), dividindo-se os valores encontrados de CBM pelo carbono da orgânico da amostra, segundo Anderson & Domsch (1993).

Para comparações entre tratamentos foram calculados intervalos de confiança das médias, considerando-se o nível de probabilidade de 5% pelo teste t.

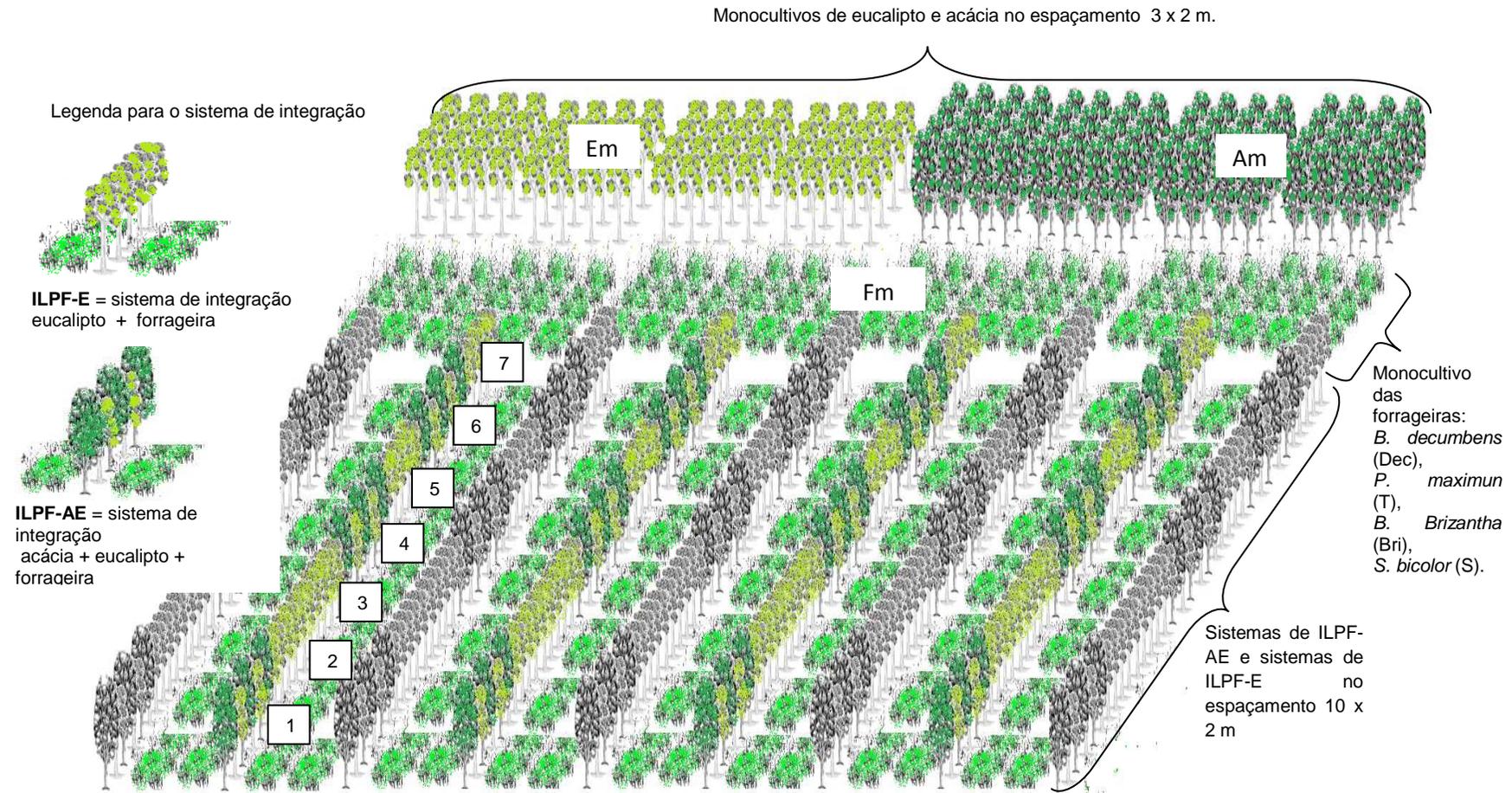


FIGURA 2 - Parcelas dos sistemas de integração

Notas: **ILPF-AE** = amostras compostas de solo a partir de quatro amostras simples de cada parcela, parcelas 1 (acácia+eucalipto+braquiariinha), 4 (acácia+eucalipto+braquiarião) e 6 (acácia+eucalipto+Tanzânia); **ILPF-E** = amostras compostas de solo a partir de quatro amostras simples de cada parcela, parcelas 2 (eucalipto+braquiariinha), 3 (eucalipto+braquiarião), 5 (eucalipto+Tanzânia) e 7 (eucalipto+sorgo). O mesmo procedimento foi efetuado nas 4 unidades experimentais

Fonte: do Autor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De maneira geral não houve diferença estatística para o nitrogênio entre os diversos usos do solo nos sistemas implantados e na área de pasto degradado; no entanto, esses valores foram menores do que os encontrados no pasto bem manejado com mais de 8 anos de implantação, P8, e os da área de mata nativa, MN (GRAF. 1). Os teores de nitrogênio, entretanto, apresentaram alta correlação com os teores de matéria orgânica presente no solo (QUADRO 2), a alta correlação foi encontrada por Frota e Rebouças, 1974; Currie *et al.*, 1996 e Berg, 2000.

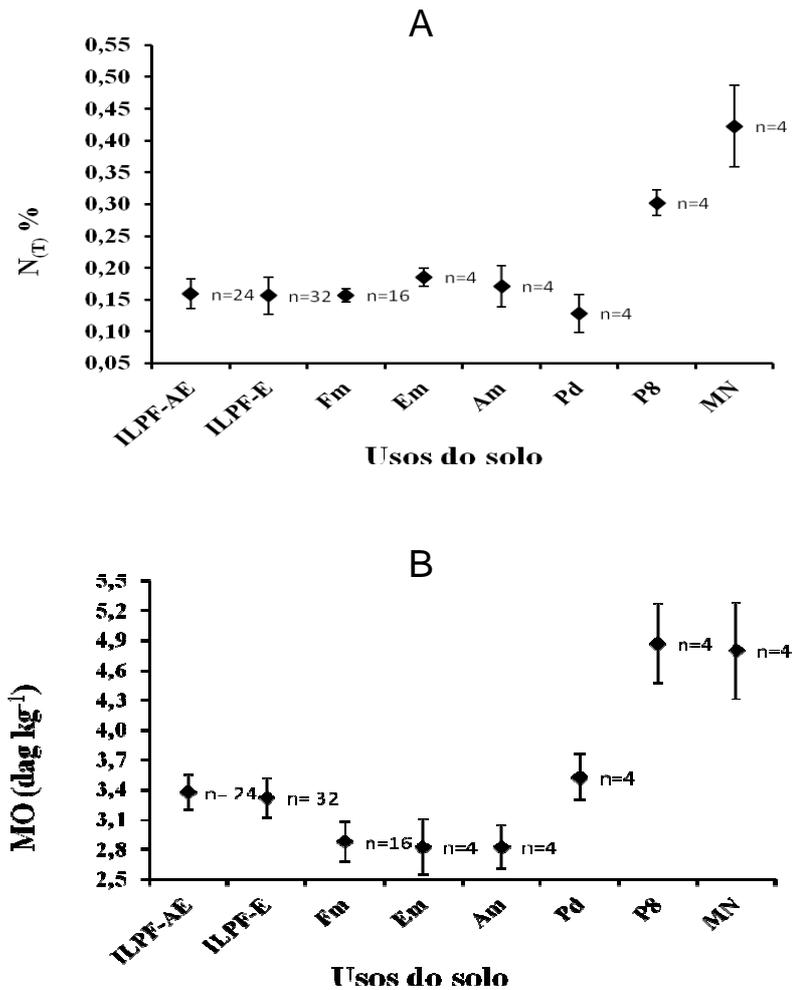
O curto período decorrido da implantação dos sistemas de ILPF até a época da amostragem do solo pode explicar os valores inferiores de nitrogênio, mesmo com as adubações de plantio e a presença do cultivo de leguminosas arbóreas e herbáceas, quando comparado com a mata nativa (MN) e com a pastagem formada há mais de 8 anos (P8). Na literatura, as eventuais mudanças que ocorreriam no solo sob sistemas agroflorestais acontecem somente após quatro anos (FISHER, 1995; SILVA *et al.*, 2011).

Exceto para MN e Pd, que apresentaram respectivamente valores baixos e altos (GRAF. 1), os valores da relação C/N dos diversos usos do solo ficaram próximos da faixa considerada ideal para os microrganismos do solo, cujo valor médio é de 10:1 para o solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Provavelmente, na área de pasto degradado (Pd), um processo de mineralização intenso, maior exposição do solo e, certamente, maior temperatura, fizeram com que a taxa de decomposição da matéria orgânica fosse alta, e com o tempo aumentou a relação C/N, diminuindo, portanto, o valor de N em relação a C, reduzindo a taxa de decomposição (BERG; MEENTEMEYER, 2002). Nessas condições, pode haver a perda de nitrogênio por volatilização ou por lixiviação (PETROVIC, 1990; PANDEY; SHARMA, 2003), reduzindo os seus teores no solo.

Por outro lado, as condições físicas do pasto degradado estariam contribuindo para a permanência dos estoques de matéria orgânica residuais nesses ambientes, principalmente porque a taxa de decomposição da

matéria orgânica é retardada quando as relações nutricionais (C/N) encontram-se alteradas (GRAF. 1), implicando baixa taxa de respiração e biomassa microbiana (GRAF. 2). O solo exposto a maior taxa de radiação solar e ventos reduz a umidade que ocasiona ambiente desfavorável ao equilíbrio dos microrganismos, o que pode ser constatado pela existência de correlação negativa entre o $q\text{CO}_2$ e a umidade (ALMEIDA *et al.*, 2009).



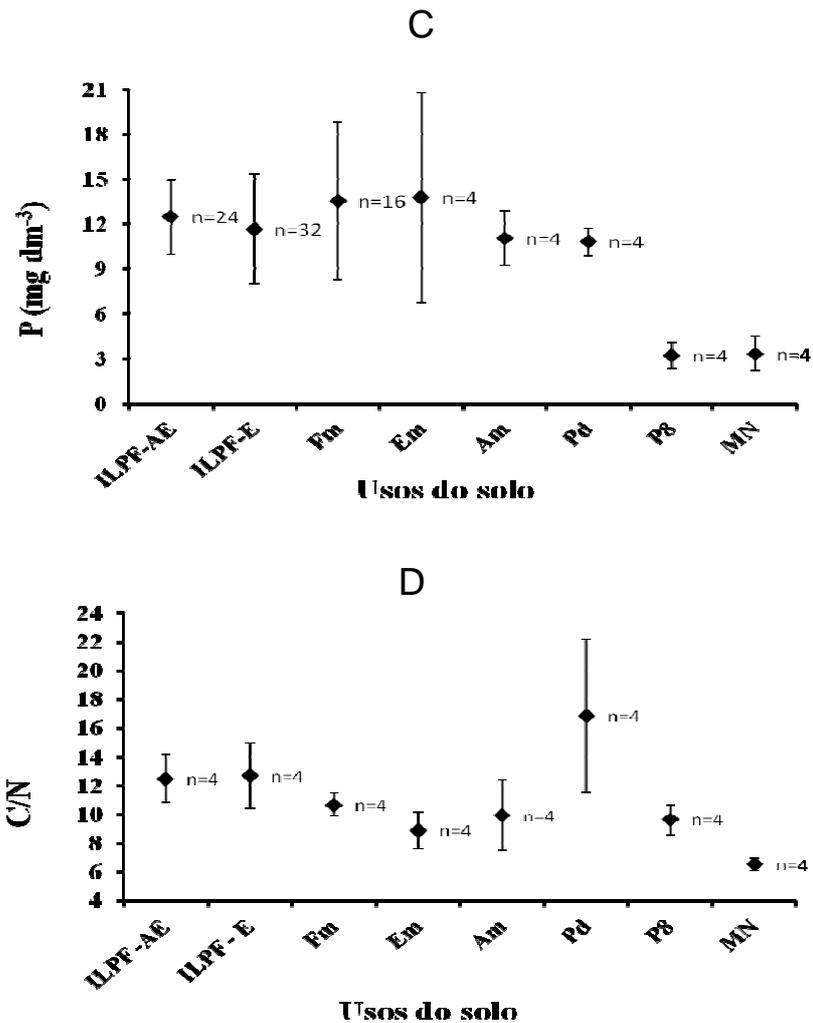


GRÁFICO 1 - Nitrogênio total (A), fósforo (B), matéria orgânica (C) e relação C/N (D) nos diversos usos do solo e intervalos de confiança das médias a 5% de probabilidade pelo teste t.

Notas: ILPF-AE = consórcio acácia+eucalipto+frrageiras, ILPF-E = consórcio eucalipto+frrageiras, Fm = monocultivos das frrageiras Dec (*B. decubens*), Bri (*B. brizantha*), T (*Panicum maximum*) e S (*Sorghum bicolor*); Em = monocultivo de eucalipto, Am = monocultivo de acácia, Pd = pasto de *P. maximum* degradado, P8 = pasto de *B. brizantha* com mais de 8 anos de implantação, MN = mata nativa.

Fonte: do Autor.

QUADRO 2 - Correlação simples de Pearson dos atributos químicos do solo em função de sua atividade microbiana

	N	P	CO ₂	CBM	qCO ₂	qMIC
MO	0.83 ^{**} 26 ^{**}	-0.9592 ^{***}	0.6830 [*]	0.7000 [*]	-0.3659 ^{ns}	-0.4381 ^{ns}
N	-	-0.8725 ^{***}	0.7946 ^{***}	0.8272 ^{***}	-0.2974 ^{ns}	0.0130 ^{ns}
P	-	-	-0.7622 [*]	-0.7942 ^{***}	0.2551 ^{ns}	0.2637 ^{ns}
CO ₂	-	-	-	0.9700 ^{***}	-0.2389 ^{ns}	0.2871 ^{ns}
CBM	-	-	-	-	-0.2853 ^{ns}	0.3195 ^{ns}
qCO ₂	-	-	-	-	-	0.0786 ^{ns}

CO₂ = respiração microbiana, CBM = carbono da biomassa microbiana, qCO₂ = quociente metabólico, qMIC = quociente microbiano*, **, *** significativo a 5, 1 e 0,1 % respectivamente, pelo teste t.

No caso da mata nativa, os valores apresentados para M.O, N e relação C/N podem estar associados à maior diversidade florística, característica desses locais, a qual proporciona maior quantidade e melhor qualidade da serrapilheira e menor variação de temperatura, umidade e o não revolvimento do solo, o que preserva as hifas fúngicas, favorecendo a atividade microbiana que mineraliza e disponibiliza os nutrientes para a vegetação de maneira dinâmica. Já para o pasto bem manejado (P8), estaria relacionado ao seu sistema radicular de raízes finas, aos exsudatos radiculares e à preservação pela estrutura do solo (REIS JUNIOR; MENDES, 2007), o que se observa pelos melhores valores de MO, N, respiração e biomassa microbiana (FIG. 3 e 4).

Nos sistemas de ILPF, AE e E, e nos monocultivos arbóreos e de forrageiras, as condições ambientais foram ideais para o desenvolvimento da microbiota, com relação C/N do solo próximas de 10:1 (GRAF. 1). No entanto, a reposição de matéria orgânica foi mais eficiente nos sistemas de integração (ILPF), e o fato de os quocientes de metabolismo (qCO₂) serem iguais nos dois sistemas, de integração e de monocultivos, fez os índices de matéria orgânica nos monocultivos serem reduzidos a valores próximos aos

apresentados pelo pasto degradado Pd, (Figuras 3 e 4). O que mostrou tendência a perdas de carbono pela respiração (CO_2) e não pela fixação via biomassa microbiana, (GRAF. 2), fato possivelmente associado a níveis de estresse mais elevados nesses sistemas, que estaria relacionado à menor cobertura vegetal. Apesar de não haver diferença significativa entre os tratamentos, a tendência para maior eficiência da utilização do carbono, menores $q\text{CO}_2$, foi observada em locais associados ao eucalipto e aos usos do solo de mata nativa e P8 (GRAF. 2).

Entretanto, estudos em monocultivos de acácia e eucalipto, e de forrageiras, em plantios com maior tempo de implantação, mostram a importância dessas espécies na recuperação dos atributos do solo. Garay *et al.* (2003) encontraram deposições provenientes da acácia duas vezes maior que o eucalipto, além de material foliar com melhor relação C/N, em função dos maiores teores de nitrogênio, e melhor capacidade dessa espécie na reconstituição dos horizontes orgânicos do solo. Em seus trabalhos relacionaram as quantidades de matéria orgânica às taxas de nitrogênio em igual período e em ambos os plantios, sendo que, enquanto a *A. mangium* depositava $7,5 \text{ t ha}^{-1}$ de matéria orgânica, com estimativa do estoque de nitrogênio nas camadas holorgânicas de 162 kg ha^{-1} , o eucalipto depositava $2,2 \text{ t ha}^{-1}$ e estocava 42 kg ha^{-1} desse nutriente.

Iwata *et al.* (2012) constataram, em ambiente similar ao do presente estudo, que os valores de nitrogênio para sistemas agroflorestais com 13 e 6 anos de implantação foram, de maneira geral, superiores aos encontrados no presente estudo, o que sugere que se mantiverem as mesmas condições de manejo atuais, este experimento proporcionaria melhores níveis de nitrogênio no solo. Da mesma forma, foi encontrada por Cecato *et al.* (2001) e Braz *et al.* (2004), alta taxa de deposição de resíduos na liteira em pastagens bem manejadas para as mesmas espécies forrageiras utilizadas neste estudo, sendo excelente fonte de nutrientes e de incremento ao solo.

Pulrolnik *et al.* (2009) constataram que um monocultivo de eucalipto após 20 anos de implantação não reduziu o estoque de carbono e nitrogênio da biomassa microbiana do solo em comparação com o Cerrado e pastagem. Além disso, proporcionou aumento nas quantidades desses elementos na matéria orgânica, sendo que para o carbono derivado dessa espécie a contribuição foi de 5% da matéria orgânica total.

Os dados apresentados neste trabalho estão de acordo com Garay *et al.* (2003); Roscoe *et al.* (2006) e Fávero *et al.* (2008), os quais indicam boa correlação entre a matéria orgânica e a ciclagem de nutrientes no solo em sistemas agroflorestais, evidenciada pelos maiores teores de formas solúveis de carbono orgânico no solo nesses ambientes em comparação a solos sob pastagem, contribuindo significativamente para a recuperação de área degradada. Para Vineela *et al.* (2008), mesmo nas zonas áridas e semiáridas em condições tropicais, a deposição regular de forma integrada de nutrientes pela vegetação melhoraria o carbono orgânico do solo e aumentaria a população microbiana.

Solos tropicais geralmente têm de baixa a moderada fertilidade, e o fósforo é muitas vezes fixado e indisponível para as plantas. Há, portanto, a necessidade de usar fertilizantes minerais ou, alternativamente, adotar sistemas agroflorestais combinados à aplicação de doses menores de fertilizantes inorgânicos, a fim de manter a fertilidade do solo e sustentar a produção vegetal (GNANKAMBARY *et al.*, 2008).

O fósforo do solo variou conforme o uso do solo, sendo que os menores valores foram observados para a MN e o P8 (GRAF. 1). Esses resultados seriam atribuídos à adubação mineral contendo fósforo, utilizada para implantação dos sistemas de integração e de monocultivos; no caso do pasto degradado, a teores de fósforos residuais resultantes de adubações anteriores, com o cultivo de pasto no sistema de produção convencional. Os níveis baixos de fósforos na área de pastagem bem manejada P8 estão de acordo com Barreto *et al.* (2006), que observaram redução do fósforo disponível no solo sob pastagem (GRAF. 1).

Para o autor, o fato não pode ser explicado pelos teores de matéria orgânica, pois o atributo não apresentou diferença significativa em seu trabalho para a mata nativa, pasto e agrofloresta. Os resultados estão igualmente de acordo com Alfaia *et al.* (2004), os quais observaram que os níveis de fósforos não variaram significativamente entre os sistemas avaliados, sendo baixo em todos eles, apresentando concentrações críticas de 10 mg kg^{-1} , atribuindo-se à exportação de nutrientes pelos frutos, sendo que os diversos usos do solo tiveram pouca influência na concentração desse nutriente no solo. No entanto, Tornquist *et al.* (1999) verificaram que o P disponível foi mais alto na profundidade de 0 a 25 cm em sistemas agroflorestais em comparação às pastagens.

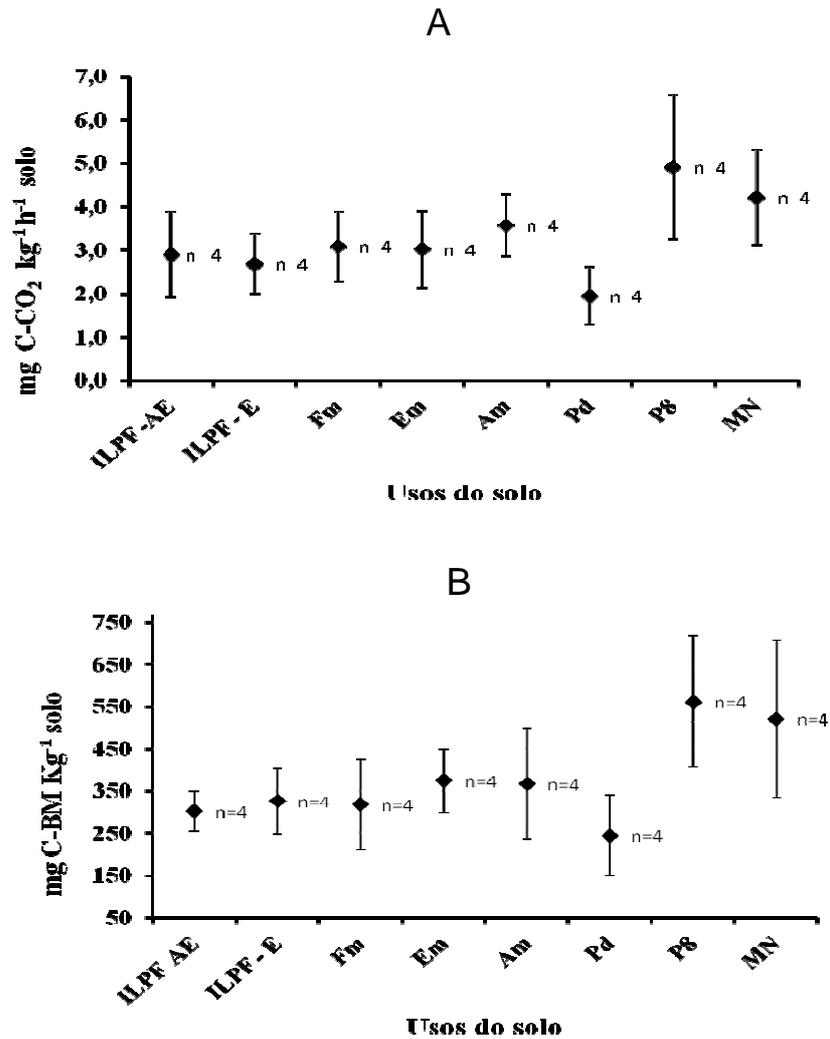


GRÁFICO 2. Carbono da biomassa microbiana (CBM) (A) e respiração microbiana do solo (B) nos diversos usos do solo e intervalos de confiança das médias a 5% de probabilidade pelo teste t.

Notas: ILPF-AE= consórcio acácia+eucalipto+forrageiras, ILPF-E = consórcio eucalipto+forrageiras, Fm = monocultivos das forrageiras; Em = monocultivo de eucalipto, Am = monocultivo de acácia, Pd = pasto de *P. maximum* degradado, P8 = pasto de *B. brizantha* com mais de 8 anos de implantação, MN = mata nativa.

Fonte: do Autor.

Conforme Marin (2002), de 15% a 80% do P do solo teriam origem na biomassa microbiana, e o desenvolvimento dos microorganismos em função de maior P disponível no solo ocorre sob a copa das árvores do que fora delas (GNANKAMBARY *et al.*, 2008).

Os valores de P apresentaram correlação negativa com os índices microbiológicos e as taxas de respiração CO₂ e de crescimento microbiano CBM (QUADRO 2); no entanto, não tiveram relação de causa e efeito, pois os níveis de fósforo presentes no solo nos tratamentos de integração ILPFs e de monocultivos não foram limitantes, exceto para pasto bem manejado e mata nativa. Considerando que as exigências da microbiota com relação ao fósforo (C:P) para fornecimento de energia é de 14:1 (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006), os valores de C:P foram muito elevados nas áreas de pasto bem manejado e de mata nativa, 175,55 e 155,53 unidades respectivamente, o que teria contribuído para a limitação do quociente microbiano, fazendo com que esses índices fossem iguais aos dos demais tratamentos, opondo-se ao comportamento esperado.

Entretanto, em outros trabalhos se observa aumento do crescimento microbiano e conseqüente incremento nos índices de qMIC quando se elevam os teores de P disponível no sistema, como o encontrado por Ferreira *et al.* (2008), os quais afirmam que a adição de P aumentaria a atividade respiratória dos microrganismos, com taxas diárias variando de 6,30 para 23,59 mg kg⁻¹ de C-CO₂.

Com relação ao qMIC, que expressa a qualidade da MO, por meio da imobilização do C utilizado no crescimento microbiano, não houve diferença estatística entre os tratamentos, e apresentaram como média geral 1,78%, com desvio padrão de 0,35%, com menor valor para pasto degradado com 1,21%, e maior valor para monocultivo de eucalipto, 2,33%. O quociente metabólico (qCO₂) é calculado a partir da relação entre respiração e biomassa microbiana, sendo que maiores índices de perda de C-CO₂ pela respiração indicam níveis de estresse da biomassa, e contribuem para avaliação da qualidade do solo.

As menores perdas são desejáveis, pois indicam a incorporação do C no tecido microbiano; no entanto, os valores devem ser comparados para um mesmo tipo de solo (ANDERSON; DOMSCH, 1985; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Assim, a estabilidade de BM e de MO no solo está associada a menores qCO_2 . Contudo, os tratamentos não indicaram haver estresse na biomassa, pois não foi observada diferença significativa entre os tratamentos, e apresentaram como média geral 9,14, com desvio padrão de 0,98, com menor valor para ILPF-AE, 7,0, e com maior valor para monocultivo de acácia, 11,92 unidades.

Os resultados para respiração e biomassa microbiana (GRAF. 2), apesar de não apresentarem diferença estatística para os tratamentos implantados, entre ILPFs e monocultivos arbóreos e de forrageiras, mostram tendência de recuperação. Os valores observados aproximam-se daqueles da mata nativa e do pasto bem manejado e distanciam-se dos de pasto degradado, indicando que, se mantiverem as condições de manejo atuais, os sistemas de produção testados poderão resultar na recuperação dos atributos microbiológicos do solo, promovendo a ciclagem de nutrientes, proteção do solo, e se configurando como sistema sustentável.

Os valores apresentados para respiração e biomassa microbiana estão de acordo com os apresentados para amostra controle de Ferreira *et al.* (2008), em estudo no cerrado, quando avaliaram as taxas de respiração em resposta à adição de fósforo no solo, e constataram que, para maiores teores de fósforo, maiores são as taxas de respiração; e com Carneiro *et al.* (2009), os quais encontraram valores similares de respiração e de biomassa microbiana em Latossolo Vermelho do cerrado, concluindo que os atributos microbiológicos do solo foram alterados pelos sistemas de manejo, sendo os mais prejudicados aqueles sistemas em que houve maior revolvimento do solo.

Apesar do reduzido tempo de implantação dos sistemas, algumas variáveis podem ser utilizadas para orientar quais manejos devem ser empregados em recuperação de áreas de pastagens degradadas, visando obter maior eficiência, e sendo igualmente utilizadas como avaliação de sustentabilidade de sistemas implantados. Dentre elas há a atividade microbiana, que apresentou melhores resultados naqueles tratamentos que tiveram relação C:N próximas de 10:1 no solo, que foram representados pelos usos do solo de monocultivos de forrageiras (Fm), de eucalipto (Em) e de acácia (Am); teores de matéria orgânica e de nitrogênio, que influenciaram as atividades microbianas e conseqüentemente resultaram numa possibilidade de crescimento de sua biomassa, reduzindo perdas de carbono por respiração (CO₂). É desejável que a relação dos teores desses atributos no solo possibilitem a manutenção da atividade da microbiota do solo, como citado acima; e teores de fósforo, quando não apresentam valores limitantes para a atividade microbiana, pois são utilizados como fonte de energia para os microrganismos.

5 CONCLUSÃO

A mata nativa e a pastagem bem manejada de braquiarião apresentam os maiores teores de N e de matéria orgânica no solo, além de maior respiração microbiana e teor de carbono na biomassa microbiana, quando comparadas aos sistemas ILPF implantados há aproximadamente 3 anos e à área de pasto degradado.

A matéria orgânica e o teor de N no solo apresentam boa correlação positiva entre si e com a respiração microbiana e com o carbono da biomassa microbiana.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; MAFRA, A. L.; FONTANA, E. C. Aplicação de calcário e fósforo e estabilidade da estrutura de um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.799-806, 2003.

ALFAIA, S. S.; RIBEIRO, G. A.; NOBRE, A. D.; LUIZÃO, R. C.; LUIZÃO, F. J. Evaluation of soil fertility in smallholder agroforestry systems and pastures in western Amazonia. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.102, p.409-414, 2004.

ALMEIDA, D.; KLAUBERG FILHO, O.; FELIPE, A. F.; ALMEIDA, H. C. Carbono, nitrogênio e fósforo microbiano do solo sob diferentes coberturas em pomar de produção orgânica de maçã no sul do Brasil. **Bragantia**, v.68, p.1069-1077, 2009.

ALVARENGA, R. C.; COSTA, L.M.; MOURA FILHO, W.; REGAZZI, A.J. Crescimento de raízes de leguminosas em camadas de solo compactadas artificialmente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, p.319-326, 1996.

ALVAREZ, V. V. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V. V. H. (Eds). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5ª aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359p.

ALVES, V. M. C.; PARENTONI, S.N.; VASCONCELLOS, C. A.; PITTA, G. V. E.; FRANÇA, C. C. M. Cinética de absorção de fósforo e crescimento do sistema radicular de genótipos de milho contrastantes para eficiência a fósforo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 1, p.85-92, 2002.

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO₂ (qCO_2) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v.25, p.93-395, 1993.

ANGULO, R. J.; ROLOFF, G.; SOUZA, M. L. P. Correlação entre diferentes formas de determinação e representação da estabilidade e resistência dos agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.8, p.7-12, 1984.

AWADHWAL N. K. Soil Structure. In: **Measuring soil processes in agricultural research**. ICRISAT: [s. n.], 1997. p.83-94. (Technical Manual, 3).

BALIEIRO, F. C.; FRANCO, A. A.; PEREIRA, M. G.; CAMPELO, E. F. C.; DIAS, L. E.; FARIA, S. M.; ALVES, B. J. R. Dinâmica da serapilheira e transferência de nitrogênio ao solo, em plantios de *Pseudosmanea guachapele* e *Eucalyptus grandis*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 597-601, 2004.

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

BARCELLOS, A. O.; RAMOS, A. K. B., VILELA, L.; MARTHA JÚNIOR, G. B. Sustentabilidade da produção animal baseada em pastagens consorciadas e no emprego de leguminosas exclusivas, na forma de banco de proteína, nos trópicos brasileiros. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, p. 51.67, 2008. [Suplemento].

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

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais**, Genesis, p. 9-26. 1999.

BENITES, V. M.; MENDONÇA, E. S. Propriedades eletroquímicas de um solo eletropositivo influenciadas pela adição de matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 215-221, 1998.

BERG, B. Litter decomposition and organic matter turnover in northern forest soils. **Forest Ecology and Management**, v.133, p.13–22. 2000.

BERG, B.; MEENTEMEYER, V. Litter quality in a north European transect versus carbon storage potential, **Plant Soil**, v.242, p.83–92, 2002.

BERGAMIN, A.C.; VITORINO, A.C.T.; LEMPP, B.; SOUZA, C.M.A.; SOUZA, F.R. Anatomia radicular de milho em solo compactado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, p. 299-305, 2010.

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**. Brasília: Embrapa, 2004.

BURESH, R. J.; TIAN, G. Soil improvement by trees in sub-Saharan Africa. **Agroforestry Systems**, v.38, p.51-76, 1998.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D. de; REIS, E. F. dos; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. de. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol.33, p.147-157, 2009.

CARRERA, L. M.; BUYER, J. S.; VINYARD, B.; ABDUL-BAKU, A. A.; SIKORA, L. J.; TEASDALE, J. R. Effects of cover crops, compost, and manure amendments on soil microbial community structure in tomato production systems. **Applied Soil Ecology**, v. 37, n. 3, p. 247-255, 2007.

CARVALHO, R.; GOEDERT, W. J.; ARMANDO, M. S. Atributos físicos da qualidade um solo sob sistema agroflorestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.1153-1155, 2004.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PADANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.527-538, 1998.

CECATO, U.; CASTRO, C. R. C.; CANTO, M. W. C. Perdas de forragem em capim-Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq. Cv.Tanzania-1) manejado sob diferentes alturas de pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, p.295-301, 2001.

COELHO, S. R. de F.; GONÇALVES, J.L. de M.; MELLO, S.L.de M.; MOREIRA, R.M.; SILVA, E. V.; LACLAU, J.P. Crescimento, nutrição e fixação biológica de nitrogênio em plantios mistos de eucalipto e leguminosas arbóreas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 759-768, 2007.

COSTA, G. S. Aporte de nutrientes pela serapilheira em área degradada e revegetada com leguminosas arbóreas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 919-927, 2004.

CURRIE, W. S.; ABER, J. D.; MCDOWELL, W. H.; BOONE, R. D.; MAGILL, A. H. Vertical transport of dissolved organic C and N under long-term N amendments in pine and hardwood forests. **Biogeochemistry**, v.35, p.471–505, 1996.

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

DERPSCH, R.; ROTH, C. H.; SIDIRAS, N.; KÖPKE, U. **Controle da erosão no Paraná, Brasil**: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. Eschborn: IAPAR, 1991. 260p.

DIAS FILHO, M. B. Sistemas silvipastoris na recuperação de pastagens tropicais degradadas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, 2006. Suplemento especial.

DIAS-FILHO, M. B. Os desafios da produção animal em pastagens na fronteira agrícola brasileira. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, p. 243-252, 2011. [Suplemento especial].

DUFRANC, G.; DECHEN, S. C. F.; FREITAS, S. S.; CAMARGO, O. A. Atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a estabilidade de agregados de dois latossolos em plantio direto no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.505-517, 2004.

DUFRANC, G.; DECHEN, S. C. F.; FREITAS, S.S.; CAMARGO, O.A. Atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a estabilidade de agregados de dois latossolos em plantio direto no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.505-517, 2004.

ECHAVARRÍA, F.G., SERNA, A., BAÑUELOS, M., SALINAS, H. FLORES, M.J. Y GUTIERREZ, M. Degradación física de los suelos de pastizal bajo pastoreo continuo en el Altiplano de Zacatecas. Secretaría de Agricultura, Ganadería, [S. I]: INIFAP, 2007.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: CNPS, 212p, 1997.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1999.

FAVERO, A. C.; AMORIM, D. A.; MOTA, R. V.; SOARES, A. M.; REGINA, M. A. Viabilidade de Produção da videira 'Syrah' em ciclo de outono inverno na região Sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.30, p.685-690, 2008.

FERREIRA, A. S.; OLIVEIRA, R. S.; SANTOS, M. A.; BORGES, E. N. Atividade respiratória da microbiota e conteúdo de glicose em resposta à adição de fósforo em solo de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1891-1897, 2008.

FERREIRA, E. P. B. et al. Rhizosphere bacterial communities of potato cultivars evaluated through PCR-DGGE profiles. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 05, p. 605-612, 2008.

FERREIRA, E. P. B.; DUSI, A. N.; COSTA, J. R.; XAVIER, G. R.; RUMJANEK, N. G. Assessing insecticide and fungicide effects on the culturable soil bacterial community by analyses of variance of their DGGE fingerprinting data. **European Journal of Soil Biology**, v. 45, n. 05/06, p. 466-472, 2009.

FERREIRA, E. P. B.; SANTOS, H. P. dos; COSTA, J. R.; RUMJANEK, N. G.; DE-POLLI, H.; Microbial soil quality indicators under different crop rotations and tillage management. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 2, p. 177-183, 2010.

FISHER, R. F., Amelioration of degraded rain forest soils by plantations of native trees. **Soil Science Society**. V.59, p.544-549, 1995.

FONTE, S.J., BARRIOS, E., SIX, J. Earthworms, soil fertility and aggregate-associated soil 4 organic matter dynamics in the Quesungual agroforestry system. **Geoderma**, v.155, p.320-328, 2010.

FRANCHINI, J. C.; CRISPINO, C. C.; SOUZA, R. A.; TORRES, E.; HUNGRIA, M. Microbiological parameters as indicators of soil quality under various soil management and crop rotation systems in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 92, n. 01/02, p. 18-29, 2007.

FRANCO, A. A.; RESENDE, A. S. de; CAMPELLO, E. F. C. Importância das leguminosas arbóreas na recuperação de áreas degradadas e na sustentabilidade de sistemas agroflorestais. In: SEMINÁRIO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 2003, Campo Grande, MS. Palestras...Campo Grande: EMBRAPA, 2003.

FROTA, J. N.; REBOUÇAS, M. A. Relação matéria orgânica-nitrogênio em solos do Ceará - Brasil. **Ciência Agronômica**. v. 4, p.31-33, 1974.

GAGGERO, M. R. **Alterações das propriedades físicas e mecânicas do solo sob sistemas de preparo e pastejo**. 1998. 125p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

GANG, L. U.; SKAGAMI, K.; TANAKA, H.; HAMADA, R. Role of soil organic matter in stabilization of water-stable aggregates in soils under different types of land use. **Soil Science Plant Nutrition**, v.44, p.147-155, 1998.

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**, v.27, p.705-712, 2003.

GARDNER, C. M. K.; LARYEA, K. B.; UNGER, P.W. **Soil physical constraints to plant growth and crop production**. Roma: FAO, 1999.

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

GNANKAMBARY, Z.; ILSTEDT, U.; NYBERG, G.; HIEN, V.; MALMER, A. Nitrogen and phosphorus limitation of soil microbial respiration in two tropical agroforestry parklands in the south-Sudanese zone of Burkina Faso: the effects of canopy and fertilization. **Soil Biology & Biochemistry**, v.40, p.350-359, 2008.

GRZESIAK, S.; GRZESIAK, M.T.; HURA, T.; MARCIŃSKA, I.; RZEPKA, A. Changes in root system structure, leaf water potential and gas exchange of maize and triticale seedlings affected by soil compaction, **Environmental and Experimental Botany**, feb. 2012.

HAMMITT, W. E.; COLE, D. N. **Wildland recreation: ecology and management**. 2nd ed. New York: John Wiley and Sons, 1998. 361p.

HORN, R.; LEBERT, M. Soil compactability and compressibility. In: SOANE, B. D.; VAN OUWERKERK, C. (Eds). **Soil compactation in crop production**. New York: Elsevier, p.45-69, 1994.

IBGE, 2009. 777 p. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/default.php>. Acesso em: 23 ago. 2012.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. **Biology and Fertility of Soils**, v. 27, p.408-416, 1998.

IWATA, B. F.; LEITE, L. F. C.; ARAÚJO, A. S. F.; NUNES, L. A. P. L.; GEHRING, C.; CAMPOS, L. P. Sistemas agroflorestais e seus efeitos sobre os atributos químicos em Argissolo Vermelho-Amarelo do Cerrado piauiense. **Revista brasileira engenharia agrícola e ambiental**, v.16, 2012.

KAISER, D. R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; COLLARES, G.L.; KUNZ, M. Intervalo hídrico ótimo no perfil explorado pelas raízes de feijoeiro em um latossolo sob diferentes níveis de compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, 2009.

KAUR, B.; GUPTA, S. R.; SINGH, G. Soil carbon, microbial activity and nitrogen availability in agroforestry systems on moderately alkaline soils in northern India. **Applied Soil Ecology**, v.15, p. 283-294, 2000.

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

KOZLOWSKI, L. A.; RONZELLI JÚNIOR, P.; PURÍSSIMO, C.; DAROS, E.; KOEHLER, H. S. Interferência das plantas daninhas na cultura do feijoeiro comum em sistema de semeadura direta. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 6., 1999, Salvador, BA. **Resumos expandidos...** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999, v.1, p.499-502. (Embrapa Arroz e Feijão, Documentos, 99).

LENKA, N. K., CHOUDHURY, P. R., SUDHISHRI, S., DASS, A.; PATNAIK, U. S., Soil aggregation, carbon build up and root zone soil moisture in degraded sloping lands under selected agroforestry based rehabilitation systems in eastern India. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v.150, p.54-62, 2012.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, E. M. R. Atributos químicos e físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo em sistema integrado de produção agroecológica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, n. 1, v. , p. 68-75, 2009.

MACEDO, M. C. M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, p.133-146, 2009. Suplemento especial.

MACEDO, R. L. G.; VENTURIN, N.; TSUKAMOTO FILHO, A. A. Princípios básicos para o manejo sustentável de sistemas agroflorestais. Lavras: UFLA/FAEPE, 2000.

MAIA, S. M. F.; XAVIER, F.A.S.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S.; ARAÚJO FILHO, J. A. Impactos de sistemas agroflorestais e convencional sobre a qualidade do solo no semiárido cearense. **Revista Árvore**, n. 30, p. 837-848, 2006.

MANZONI, S.; PORPORATO, A., Theoretical analysis of nonlinearities and feedbacks in soil carbon and nitrogen cycles. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 39, p. 1542–1556, 2007.

MAPA 2012 <http://www.agricultura.gov.br/desenvolvimento-sustentavel/recuperacao-areas-degradadas> Acessado em 20 de agosto de 2012

MARIN, A. M. P. **Impactos de um sistema agroflorestal com café na qualidade do solo**. 2002. 83f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

MARTHA JÚNIOR, G. B.; CORSI, M. Pastagens no Brasil: situação atual e perspectivas. **Preços Agrícolas**, v.15, p.15-18, 2001.

MARTINS, C. R. **Revegetação com gramíneas nativas de uma área degradada no Parque Nacional de Brasília, DF, Brasil**. 1996, 10f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 1996.

MARTINS, S. G. SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M. Avaliação de atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes povoamentos florestais. **Cerne**, v. 08, n. 01, p. 32-41, 2002.

MATIAS, M. I. A. S. **Influência da cobertura vegetal na disponibilidade de nutrientes e na distribuição do sistema radicular em Latossolo Amarelo coeso de Tabuleiro Costeiro**. 2003. 78f. (Dissertação de Mestrado) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2003.

MENEZES, J. M. T.; VANLEEUWEN, J.; VALERI, S. V.; CRUZ, M. C. P.; LEANDRO, R. C. Comparação entre solos sob uso agroflorestal e em florestas remanescentes adjacentes, no norte de Rondônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n. 2, p.893-898, 2008.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Plano de ação para prevenção e controle do desmatamento e das queimadas: cerrado**. Brasília: MMA, 2011. 200 p. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/201/_arquivos/ppcerrado_201.pdf. Acesso em 07 jan. 2013.

MIRANDA, M. I. Efeitos de diferentes regimes de queimadas sobre a comunidade de gramíneas do cerrado. 2002. 106 f. Tese de Doutorado - Universidade de Brasília, Brasília, 2002.

MOREIRA, F. M. de S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. 2.ed. atual. e ampl. Lavras: Ufla, 2006. 729p.

MOTA, F. O. B.; OLIVEIRA, J. B.; GEBHARDT, H. Mineralogia de um Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico e de um Planossolo Háplico eutrófico solódico numa topossequência de gnaiss no sertão central do Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, n. 4, p.607-618, 2002.

NACHTERGAELE, F.; BIANCALANI, R.; PETRI, M. **Land degradation solaw background thematic: report 3**. Disponível em: http://www.fao.org/fileadmin/templates/solaw/files/thematic_reports/SOLAW_thematic_report_3_land_degradation.pdf- Acesso em: 27 de ago. de 2012.

NADIAN, H.; SMITH, S.E.; ALSTON, A.M.; MURRAY, R.S. The effect of soil compaction on growth and P uptake by *Trifolium subterraneum*: interactions with mycorrhizal colonisation. **Plant and Soil**, v.182, n.1, p.39-49, 1996.

NASR, H. M.; SELLES F. Seedling emergence as influenced by aggregate size, bulk density, and penetration resistance of the seedbed. **Soil and Tillage Research**, v.34, p.61-76, 1995.

NEUPANE, R. P.; THAPA, G .B. Impact of agroforestry intervention on soil fertility and farm income under the subsistence farming system of the middle

hills, Nepal. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.84, p.157-167, 2001.

NEVES, C. M. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; CARDOSO, E. L.; MACEDO, R. L. G.; FERREIRA, M. M.; SOUZA, F. S. Atributos indicadores da qualidade do solo em Sistemas Agrossilvipastoril no Noroeste do Estado de Minas Gerais. **Scientia Florestalis**, v. 74, n. 2, p. 45-53, 2007.

OLIVEIRA, W. S. A. **Avaliação dos atributos químicos e físico de um solo submetido a diferentes tipos de uso no Acre**. 2008. 54f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal do Acre, Acre, 2008.

OPARA, S. S. Soil microaggregates stability under different land use types in southeastern Nigeria. **Catena**, v.79, p.103-112, 2009.

PACIULLO, D. S. C.; CASTRO, C. R. T.; GOMIDE, C. A. M.; MAURÍCIO, R. M.; PIRES, M. F. A.; MULLER M. D.; XAVIER, D. F. Performance of dairy heifers in silvopastoral system. **Livestock Science**, v.141, p.166-172, 2011.
PACIULLO, D.S.C.; CASTRO, C.R.T.; GOMIDE, C.A.M.; MAURÍCIO, R.M.; PIRES, M.F.A.; MULLER M.D.; XAVIER, D.F. Performance of dairy heifers in silvopastoral system. **Livestock Science**, v.141, n. 1, p.166-172, 2011.

PANDEY, C. B.; D. K. SHARMA, Residual effect of nitrogen on rice productivity following tree removal of *Acacia nilotica* in a traditional agroforestry system in central India. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.96, p.133-139, 2003.

PEREIRA, S. A.; OLIVEIRA, G. C.; SEVERIANO, E. C.; BALBINO, L. C.; OLIVEIRA, J. P. de. Análise de componentes principais dos atributos físicos de um Latossolo Vermelho distrófico típico sob pastagem e mata. **Global Science and Technology**, v.3, p.87-97, 2010.

PETROVIC, A. M., The fate of nitrogenous fertilizers applied to turfgrass. **Journal of Environmental Quality**, v.19, p.1-14, 1990.

PIGNATARO NETTO, I. T.; KATO, E.; GOEDERT, W. J. Atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho Amarelo sob pastagens com diferentes históricos de uso. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.33, p.1441-1448, 2009.

PULROLNIK, K.; BARROS, N. F.; SILVA, I. R.; NOVAIS, R. F.; BRANDANI, C. B. Estoques de carbono e N em frações lábeis e estáveis da matéria orgânica de solos sob eucalipto, pastagem e cerrado no Vale do Jequitinhonha - MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1125-1136, 2009.

RADOMSKI, M. I., RIBASKI, J. Fertilidade do solo e produtividade da pastagem em sistema silvipastoril com *Grevillea robusta*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.32, p.53-61, 2012.

REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M.; AITA, C.; ANDRADA, M. M. C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1805-1816, 2008.

REIS JUNIOR, F. B.; MENDES, I. C. **Biomassa microbiana no solo**. Embrapa cerrados 2007, (Documentos, 205)

ROOSE, E., NDAYIZIGIYE, F. Agroforestry, water and soil fertility management to fight erosion in tropical mountains of Rwanda. **Soil Technology**, v.11, p.109-119, 1997.

ROSCOE, R.; BODDEY, R. M.; SALTON, J. C. Sistemas de manejo e matéria orgânica do solo. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F.M.; SALTON, J. C. (Orgs.). **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares**. [S.l]: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. p.17-41.

ROTH, C. H., PAVAN, M. A. Effects of lime and gypsum on clay dispersion and infiltration in samples of a Brazilian Oxisol. **Geoderma**, v. 48, p. 351–361, 1991.

SETA, A. K.; KARATHANASIS, A. D. Water dispersible colloids and factors influencing their dispersibility from soil aggregates. **Geoderma**, v.74, p.255-266, 1997.

SHARMA, G., SHARMA, R., SHARMA, E. Impact of stand age on soil C, N and P dynamics in a 40 year chronosequence of alder-cardamom agroforestry stands of the Sikkim Himalaya. **Pedobiologia**, v.52, p. 401-414, 2009.

SILVA R. R., SILVA M. L. N.; FERREIRA M. M. Atributos físicos indicadores da qualidade do solo sob sistemas de manejo na Bacia do Alto do Rio Grande - MG. **Ciência e Agrotecnologia**, v.29, p.719-730, 2005.

SILVA, A. P.; KAY, B. D.; PERFECT, E. Management versus inherent soil properties effects on bulk density and relative compaction. **Soil & Tillage Research**, v.44, p.81-93, 1997.

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

SILVA, G. L. LIMA, H. V. CAMPANHA, M. M. GILKES, R. J.; OLIVEIRA T. S. Soil physical quality of Luvisols under agroforestry, natural vegetation and conventional crop management systems in the Brazilian semi-arid region. **Geoderma**, v. 167 – 168, p. 61-70, 2011.

SILVA, V. P. Sistema silvipastoril (Grevílea + pastagem): uma proposição para o aumento de produção no arenito Caiuá. In: ENCONTRO SOBRES SISTEMAS AGROFLORESTAIS NOS PAÍSES DO MERCOSUL, 1., 1994, Porto Velho. **Anais...**Colombo: Embrapa Florestas, 1994. v. 2.

SINGH, J. S.; RAGHUVANSHI, A. S.; SINGH, R. S.; SRIVASTAVA, S. C. Microbial biomass acts as a source of plant nutrients in dry tropical forest and savanna. **Nature**, v. 399, p.499-500, 1989.

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

SOANE, B. D.; VAN OUWERKERK, C. (Eds.), Soil compaction in crop production. New York: Elsevier Science., 1996. (Developments in Agricultural Engineering Series, 11).

SOUZA, E. S.; ANTONINO, A. C. D.; LIMA, J. R. S.; GOUVEIA NETO, G. C.; SILVA, J. M.; SILVA, I. F. Efeito do encrostamento superficial nas propriedades hidráulicas de um solo cultivado. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.2, p.69-74, 2007.

STEVENSON, F. J. **Cycles of Soil. Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, Micronutrients**. [S. L.]: John Wiley & Sons, 1986.

SZOTT, L.T.; PALM, C.A.; SANCHEZ, P.A. Agroforestry in acid soils of humid tropics. **Advances in Agronomy**, v.45, p.275-301, 1991.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.;BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2 ed. Porto Alegre: UFRGS. 174p. 1995. (Boletim Técnico, 5).

TIPPKÖTTER, R. The effect of ultrasound on the stability of mesoaggregates (60-200 μm). **Zeitschrift Pflanzenernährung und Bodenkunde**, Berlin, v.157, p.99-104, 1994.

TORNQUIST, C. G. F. M.; HONS, S. E.; FEAGLEY, J.; HAGGAR. Agroforestry system effects on soil characteristics of the Sarapiquí region of Costa Rica. **Agriculture Ecosystems Environment**. v.73, p.19-28, 1999.

UDAWATTA, R. P.; KREMER, R. J.; ADAMSON, B. W.; ANDERSON, S. H. Variations in soil aggregate stability and enzyme activities in a temperate agroforestry practice. **Applied Soil Ecology**, v.39, p.153-160, 2008.

VALENTIN, C., BRESSON, L. M. Morphology, genesis and classification of surface crusts in loamy and sandy soils. **Geoderma**, v.55, p.225-245, 1992.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, v.19, p.703-707, 1987.

VINEELA, C., WANI, S. P.; SRINIVASARAO, C.; PADMAJA, B.; VITTAL, K. P. R. Microbial properties of soils as affected by cropping and nutrient management practices in several long-term manurial experiments in the semi-arid tropics of India. **Applied Soil Ecology**, v.40, p.165-173, 2008.

VITAL, A. R. T.; GUERRINI, I. G.; FRANKEN, W. K.; FONSECA, R. C. B. Produção de serrapilheira e ciclagem de nutrientes de uma floresta estacional semidecidual em zona ripária. **Revista Árvore**, v. 28, p. 793-800, 2004.

WARDLE, D. A. A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels. **Soil Biology**, v.67, p.321-358, 1992.

YOUNG, A. **Agroforestry for soil conservation**. International Centre for Research in Agroforestry, ICRAF. Nairobi: [s.n.], 1989.

ZHAO, B.; CHEN, J.; ZHANG, J.; QIN, S. Soil microbial biomass and activity response to repeated drying–rewetting cycles along a soil fertility gradient modified by long-term fertilization management practices. **Geoderma**, v.160, p. 218–224, 2010.