

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA TROPICAL**

GISELA AZEVEDO TAUFNER

**ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO EM
SISTEMA SILVIPASTORIL**

**São Mateus, ES
Fevereiro de 2013**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA TROPICAL**

**ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO EM
SISTEMA SILVIPASTORIL**

GISELA AZEVEDO TAUFNER

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical, para a obtenção do título de mestre em Agricultura Tropical.

Orientador: Pesquisador. Dr. JOSÉ RICARDO MACEDO PEZZOPANE

Co-orientador: Dr. FÁBIO RIBEIRO PIRES

**São Mateus, ES
Fevereiro de 2013**

ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO EM SISTEMA SILVIPASTORIL

GISELA AZEVEDO TAUFNER

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical, para a obtenção do título de mestre em Agricultura Tropical.

Aprovada em 27 de fevereiro de 2013

Prof. Dr. Ivoney Gontijo

Universidade Federal do Espírito Santo
UFES/CEUNES

Prof. Dr. Marcelo Suzart de Almeida

Universidade Federal do Espírito Santo
UFES/CEUNES

Prof. Dr. André Assis Pires

Instituto Federal do Espírito Santo
IFES

Prof. Dr. Fábio Ribeiro Pires

Universidade Federal do Espírito Santo
UFES/CEUNES
(Co-orientador)

Prof. Dr. José Ricardo Macedo Pezzopane

Embrapa Pecuária Sudeste
(Orientador)

Aos meu pais, Irleu e Mara, pelo apoio, amor incondicional e poder de fala tranquilizante que só os pais possuem.

Ao meu noivo, Rodrigo, pela dedicação suprema, paciência de Jó e companheirismo incomum.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao Centro Universitário Norte do Espírito Santo - CEUNES/UFES e à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Pecuária Sudeste, que possibilitaram a realização deste trabalho;

A CAPES, pelo importante apoio financeiro na concessão da bolsa e auxílio pesquisa;

Ao professor Dr. José Ricardo Macedo Pezzopane, pela oportunidade de aperfeiçoamento dos conhecimentos, pela orientação, dedicação e amizade;

Ao professor Dr. Fábio Ribeiro Pires, pela co-orientação, ideias e correções que tanto contribuíram para a realização deste trabalho, além do apoio contínuo numa jornada de longos anos, possibilitando enorme aprendizado profissional e pessoal que levarei para o resto da vida;

Ao amigo e colega profissional Jorge Soares (Jorginho do Incaper), pela extrema dedicação e ajuda na condução do experimento; Ao amigo Alex, pela ajuda na análise estatística;

Aos colegas de curso pelas sugestões, discussões e harmonioso convívio;

Aos funcionários dos laboratórios de física do solo do CEUNES e de fertilidade da Embrapa Pecuária Sudeste, em especial ao Helder, pela ajuda e por compartilhar suas experiências laboratoriais.

Aos amigos do peito, ao meu noivo e à minha família pelo apoio e incentivo, fatores determinantes para o fechamento de mais esta etapa.

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	15
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1. Sistemas agroflorestais.....	17
2.2. Sistemas silvipastoris.....	18
2.3. Qualidade do solo.....	20
2.4. Indicadores da qualidade do solo.....	21
2.5. Atributos do solo em sistemas silvipastoris.....	24
3. CAPÍTULOS.....	26
3.1. CAPÍTULO 1: ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM SISTEMA SILVIPASTORIL.....	27
3.1.2. Resumo.....	27
3.1.3. Abstract.....	28
3.1.4. Introdução.....	29
3.1.5. Material e métodos.....	30
3.1.6. Resultados e discussão.....	36
3.1.7. Conclusões.....	42
3.1.8. Referências bibliográficas.....	43
3.2. CAPÍTULO 2: ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM SISTEMA SILVIPASTORIL.....	45
3.2.1. Resumo.....	45
3.2.2. Abstract.....	46
3.2.3. Introdução.....	47
3.2.4. Material e métodos.....	48

3.2.5. Resultados e discussão.....	53
3.2.6. Conclusões	61
3.2.7. Referências bibliográficas.....	62
4. CONCLUSÕES GERAIS.....	64
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

LISTA DE TABELAS

Tabela	Capítulo 1. Atributos físicos em sistema silvipastoril	Página
1	Valores médios da estabilidade dos agregados em água, por classe de tamanho, densidade do solo (Ds), microporosidade (Mi) e macroporosidade (Ma) em três profundidades de amostragem, em fevereiro de 2010 em um sistema silvipastoril em São Carlos, SP.	37
2	Valores médios da estabilidade dos agregados em água, por classe de tamanho, densidade do solo (Ds), microporosidade (Mi) e macroporosidade (Ma) em três profundidades de amostragem, em março de 2012 em um sistema silvipastoril em São Carlos, SP.	38
3	Valores médios macroporosidade (%) em quatro distâncias da linha arbórea (posição) em dois momentos de avaliação em um sistema silvipastoril em São Carlos, SP.	40
4	Valores médios de resistência mecânica do solo à penetração (MPa) e umidade gravimétrica (Ug) em duas profundidades em dois momentos de avaliação em um sistema silvipastoril em São Carlos, SP.	40
5	Valores médios de resistência mecânica do solo à penetração (MPa) e umidade gravimétrica (Ug) em diferentes distâncias da linha arbórea (posição) referentes ao ano de 2010	41

Capítulo 2. Atributos químicos em sistema silvipastoril

- 1 Valores médios de pH em água (pH H₂O), pH em cloreto de cálcio (pH CaCl₂), matéria orgânica (MO), fósforo-resina (P resina), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) em três profundidades de solo de um sistema silvipastoril em São Carlos, SP, em outubro de 2010. 53
- 2 Valores médios de acidez potencial (H+Al), alumínio trocável (Al), capacidade de troca catiônica (CTC), enxofre (S), índice de saturação por bases (V) e saturação por alumínio (m) em três profundidades de solo de um sistema silvipastoril em São Carlos, SP, em outubro de 2010. 53
- 3 Valores médios de pH em água (pH H₂O), pH em cloreto de cálcio (pH CaCl₂), matéria orgânica (MO), fósforo-resina (P resina), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) em três profundidades de solo de um sistema silvipastoril em São Carlos, SP, em outubro de 2011. 54
- 4 Valores médios de acidez potencial (H+Al), alumínio trocável (Al), capacidade de troca catiônica (CTC), enxofre (S), índice de saturação por bases (V) e saturação por alumínio (m) em três profundidades de solo de um sistema silvipastoril em São Carlos, SP, em outubro de 2011. 54
- 5 Valores médios de pH em água (pH H₂O), pH em cloreto de cálcio (pH CaCl₂), matéria orgânica (MO), fósforo-resina (P resina), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) em três profundidades de solo de um sistema silvipastoril em São Carlos, SP, em outubro de 2012. 56

- | | | |
|---|--|----|
| 6 | Valores médios de acidez potencial (H+Al), alumínio trocável (Al), capacidade de troca catiônica (CTC), enxofre (S), índice de saturação por bases (V) e saturação por alumínio (m) em três profundidades de solo de um sistema silvipastoril em São Carlos, SP, em outubro de 2012. | 56 |
| 7 | Valores médios de matéria orgânica (MO), potássio (K), magnésio (Mg), H+Al, enxofre (S) e saturação referentes ao ano de 2010. | 57 |
| 8 | Valores médios de saturação por alumínio (m), em quatro distâncias da linha arbórea (posição) referentes ao ano de 2011. | 58 |

LISTA DE FIGURAS

Figura	Capítulo 1. Atributos físicos em sistema silvipastoril	Página
1	Vista aérea da área experimental (áreas delimitadas em amarelo) e piquetes onde foram retiradas as amostras (delimitados em vermelho).	32
2	Representação das espécies madeireiras e tutoras no sistema silvipastoril e localização dos pontos de avaliação.	33
3	Ilustrações do experimento durante a vigência do projeto.	34
4	Procedimentos para análise de porosidade total, macroporosidade e microporosidade (à esquerda) e para análise de estabilidade de agregados (à direita).	35
 Capítulo 2. Atributos químicos em sistema silvipastoril		
1	Vista aérea da área experimental (áreas delimitadas em amarelo) e piquetes onde foram retiradas as amostras (delimitados em vermelho).	48
2	Representação das espécies madeireiras e tutoras no sistema silvipastoril e localização dos pontos de avaliação.	49
3	Ilustrações do experimento durante a vigência do projeto.	50
4	Coleta de solo para análise de atributos químicos em sistema silvipastoril.	51

RESUMO

TAUFNER, Gisela; M.Sc; Universidade Federal do Espírito Santo; Janeiro de 2013; **Atributos físicos e químicos do solo em sistema silvipastoril**; Orientador: Dr. José Ricardo Macedo Pezzopane, Co-orientador: Dr. Fábio Ribeiro Pires.

A busca por práticas que visem à melhoria das condições ambientais nos sistemas agrícolas de produção atuais é uma necessidade. Diante disso, os sistemas silvipastoris se enquadram nessa categoria e, utilizados com base em princípios ambientais, tornam-se uma alternativa em prol da sustentabilidade desses sistemas. Foram avaliadas alterações nos atributos físicos e químicos do solo em sistema silvipastoril ao longo do tempo, tomados em um gradiente de distância das árvores com objetivo de avaliar a influência do componente arbóreo nos atributos físicos e químicos do solo sob sistema silvipastoril. O experimento foi conduzido de 02/2010 a 03/2012 na Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos, SP (21° 57' 33" S; 47° 51' 06" W). O sistema silvipastoril foi implantado em 2007 com o plantio de árvores nativas em pastagem de *Brachiaria decumbens* em solo Latossolo Vermelho Amarelo (LVA) e Latossolo Vermelho (LV) textura média. Em cerca de oito hectares, as árvores foram plantadas em faixas distanciadas de 17 m na pastagem, com proteção de cerca elétrica. As coletas foram feitas em quatro pontos amostrais referentes às distâncias em relação ao renque de árvores: 0,0 m; 2,0 m; 4,75 m; 8,5 m; em três profundidades: 0-10 cm; 10-20 cm e 20-40 cm; com quatro e cinco repetições para atributos físicos e químicos, respectivamente. Dos atributos físicos, foram determinados: densidade do solo, macro e microporosidade, estabilidade de agregados e resistência do solo à penetração nas camadas de 0-20 e 20-40 cm. Para os atributos químicos, foram determinados valores de pH e teores de P, K, Ca, Mg, MO, H+Al, Al, CTC, S, V, m. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos, comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para os atributos físicos

foram encontradas diferenças significativas para todas as características avaliadas em relação à profundidade, sendo observado significativo incremento de matéria orgânica ao sistema, favorecendo a agregação e a estrutura do solo na profundidade de 0-10 cm. Os atributos químicos que expressam melhoria da fertilidade do solo foram sempre maiores na profundidade de 0-10 cm. Os atributos físicos e químicos não foram beneficiados pela presença das árvores. Houve incremento dos valores do primeiro para o segundo ano de avaliação. São necessárias avaliações ao longo do tempo para acompanhamento desses atributos, esperando-se que com a estabilização do sistema, seja possível chegar a resultados conclusivos sobre a influência da arborização nos sistemas silvipastoris.

Palavras-chave: Degradação do solo, matéria orgânica do solo, sustentabilidade, sistemas agroflorestais.

ABSTRACT

TAUFNER, Gisela; M.Sc; Universidade Federal do Espírito Santo; January 2013; **Physical and chemical soil attributes in silvopastoral system**; Adviser: Dr. José Ricardo Macedo Pezzopane, Co-adviser: Dr. Fábio Ribeiro Pires.

Changes in physical and chemical soil attributes were assessed in a silvopastoral system over time, taken on a gradient away from the trees. The experiment was conducted from 03/2010 to 09/2012 at Embrapa South-East Cattle Research Center, Sao Carlos, SP, Brazil (21° 57' 33" S; 47° 51' 06" W). The silvopastoral system was implanted in 2007 with the planting of native trees in a *Brachiaria decumbens* pasture in soil LVA and LV medium to evaluate the influence of the tree component in the physical and chemical soil under silvopastoral system. In about eight hectares, the trees were planted in strips spaced 17 m in pastures with electric fence protection. Sampling was made in 4 different points regarding the distances from the row of trees: 0.0m; 2 m; 4.75 m; 8.5 m; at 3 depths: 0-10 cm; 10-20 cm; 20-40 cm; with 4 and 5 replications to physical and chemical attributes respectively. From physical attributes were determined: soil density, macro and micro porosity, aggregate stability and soil resistance to penetration at 0-20 and 20-40 cm. For chemical attributes were determined pH and levels of P, K, Ca, Mg, organic matter (OM), potential acidity (H + Al), exchangeable aluminum (Al), cation exchange capacity, sulfur (S), base saturation and aluminum saturation. Data were submitted to analysis of variance and mean treatment were compared by Tukey test at 5% probability. For the physical attributes significant differences were found for all assessed characteristics related with depth, being observed significant increase of organic matter to the system, favoring aggregation and soil structure at depth of 0-10 cm. The chemical attributes that

express improvement of soil fertility were higher at a depth of 0-10 cm and were not benefited by the presence of trees. There was an increase of the value from the first to the second year of assessment. Assessments are needed over time to monitor these attributes, it is expected that with the system stabilization it is possible to achieve conclusive results about the influence of afforestation in silvopastoral systems.

Key-words: Soil degradation, soil organic matter, aggregate stability; agroforestry.

1. INTRODUÇÃO GERAL

Devido à crescente demanda mundial por alimentos é perceptível um grande aumento das atividades antrópicas em ambientes naturais o que, por sua vez, intensifica e agrava a problemática ambiental. A partir da inexistência, em alguns locais, de novas áreas para exploração agropecuária, estratégias como aumento da produtividade e a recuperação de áreas degradadas são, hoje, uma tendência no campo de pesquisas. Em meio à situação ambiental e de produção atuais, essas estratégias são percebidas fortemente atreladas aos princípios da sustentabilidade. Desse modo, os sistemas silvipastoris (SSPs) vêm sendo avaliados como uma estratégia de recuperação de áreas degradadas devido à proposta de uso múltiplo da terra, onde são constatadas a interação de diversos fatores que promovem benefícios ao meio e por serem uma alternativa ao sistema pastoril convencional.

No Brasil, o reconhecimento do valor dos sistemas silvipastoris está em crescimento. A associação de árvores e pastagens aumenta a eficiência de uso da terra (DUBÉ et al., 2002) e diversifica a renda das propriedades pecuárias, gerando produtos adicionais e benefícios ambientais. As espécies florestais contribuem para o controle de erosão, bem-estar animal e fixação de carbono (MONTAGNINI & NAIR, 2004), auxiliando na redução de dependência externa de insumos, entre outros.

De acordo com Young (1991) as principais interações dos sistemas silvipastoris com o ambiente referem-se ao microclima (radiação solar, umidade do ar, temperatura e vento) e ao solo (erosão e fertilidade). As árvores, auxiliando na estabilização do microclima, protegem os animais do calor e frio intensos, propiciando a manutenção do conforto térmico, com reflexos positivos na produtividade do rebanho (ABEL et al., 1997; NICODEMO, 2005; PORFÍRIO-DA-SILVA, 2006). Segundo Mendonça et. al. (2001), a adoção desses sistemas pode resultar em benefícios para os componentes do agroecossistema como a possibilidade de um maior aporte de matéria orgânica e ciclagem de nutrientes.

Carvalho et al. (2004), sugerem que um solo sob sistema agroflorestal possui qualidade física superior, por favorecer menor densidade, maior porosidade, menor resistência à penetração e maior agregação.

Sabendo-se que a busca por alternativas que visem à melhoria das condições ambientais nos sistemas produtivos é uma necessidade, os sistemas silvipastoris se enquadram nessa categoria e são utilizados com base em princípios ambientais.

Esse trabalho procurou contribuir para a ampliação do conhecimento sobre o efeito do componente arbóreo sobre o solo por meio da avaliação de atributos físicos e químicos em Latossolo, sob sistema silvipastoril.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Sistemas agroflorestais

A agricultura sustentável pode ser alcançada por meio de sistemas de produção agropecuários que utilizem tecnologias e princípios de manejo que conservem e, ou, melhorem a base física e a capacidade sustentadora do agroecossistema (FRANCO, 2000).

Atualmente, um dos sistemas utilizados que proporcionam tais vantagens, são os sistemas agroflorestais (SAFs). Os sistemas agroflorestais podem ser definidos, segundo Vale (2004), como sendo sistemas de uso da terra e dos recursos naturais que combinam a utilização de espécies florestais, agrícolas e, ou, criação de animais, numa mesma área, de maneira simultânea e, ou, escalonada no tempo. Segundo Mendonça et al. (2001), a esta combinação vem sido atribuída à melhoria nas propriedades físico-químicas de solos degradados, bem como à atividade de microrganismos, considerando a possibilidade de um grande número de fontes de matéria orgânica. Osterroht (2002) defende que, entre os diversos sistemas agropecuários de uso da terra, os SAFs são aqueles que acumulam maior ativo de biomassa. Dessa forma, os SAFs frequentemente são admitidos como uma das formas mais adequadas de desenvolvimento dos trópicos úmidos.

Os Sistemas Agroflorestais (SAF's) são também considerados sistemas de manejo que visam conservar as condições do solo mais próximas o possível das condições naturais. Por sua constituição, os SAF's propiciam um contínuo aporte de matéria orgânica e condicionam favoravelmente o meio físico do solo (AGUIAR, 2008).

Por existirem diferentes modelos de SAFs, estes podem ser agrupados considerando três componentes básicos do sistema: espécies lenhosas perenes, geralmente árvores, espécies herbáceas ou culturas e animais. Assim, podem ser descritos três tipos básicos de sistemas agroflorestais: sistemas silviagrícolas (árvores

e culturas), sistemas silvipastoris (árvores, pastagens e animais) e sistemas agrossilvipastoris (árvores, culturas, pastagens e animais) (NAIR, 1991; OLIVEIRA et al., 2005; FERNANDES et al., 2006).

Atualmente, os sistemas agroflorestais estão sendo vistos como alternativa promissora para propriedades rurais dos países em desenvolvimento. Pela integração da floresta com culturas agrícolas e com a pecuária, esse sistema oferece uma alternativa quanto aos problemas da baixa produtividade, escassez de alimentos e degradação ambiental generalizada (ALMEIDA et al., 1995; SANTOS, 2000).

2.2 Sistemas silvipastoris

Como alternativa ao sistema de monocultura de gramíneas, a associação de árvores, pastagens e animais chega contrapondo o sistema tradicional, considerando-se os aspectos econômico e biológico da sustentabilidade (VEIGA & TOURRAND, 2002).

Os Sistemas Silvipastoris (SSP) caracterizam-se pela combinação de árvores, pastagem e animais numa mesma área, ao mesmo tempo, e manejados de forma integrada, com o objetivo de incrementar a produtividade por unidade de área. Promove, assim, a sustentabilidade do sistema pela ciclagem dos elementos, mantendo ativa a circulação de nutrientes e o aporte de matéria orgânica, a conservação do solo e da água, a possibilidade de melhoria das condições físicas, químicas e da atividade biológica na superfície do solo, além do conforto térmico para os animais (LEME et al., 2005).

As principais vantagens do SSP são: efetivar a proposta de uso múltiplo da terra por meio do aumento da eficiência no uso dos recursos em uma escala espacial e temporal, reduzir os riscos, aumentar a estabilidade dos sistemas, em função da diversificação de espécies, e promover o uso social e recreativo da terra, conforme citado na Declaração Silvipastoril (MOSQUERA-LOSADA et al., 2006).

O consórcio de pastagens no Brasil e em outros países da América do Sul e Central vem sendo avaliado, inclusive, como uma estratégia de remediação de pastagens degradadas (CARVALHO et al., 1995; DIAS-FILHO, 2000; MONTAGNINI et al., 2003).

Na fase de estabelecimento dos sistemas silvipastoris, três situações relacionadas com o plantio dos componentes do sistema podem ocorrer: (1) as árvores são introduzidas em pastagem já existente; (2) árvores e gramíneas são plantadas simultaneamente; e (3) as gramíneas são introduzidas em áreas de plantios florestais ou maciços arbóreos naturais (CARVALHO et al., 1995).

As árvores, quando já inseridas no sistema, podem promover diversos benefícios: contribuem para a proteção da biodiversidade local, melhorando a qualidade da água e do solo (MOSQUERA-LOSADA, 2004); exercem sua influência via ciclagem de nutrientes, devido à adição de nutrientes ao ecossistema por meio da deposição de biomassa da parte aérea e da rizociclagem, contribuindo, assim, para um enriquecimento mineral do solo (CARVALHO et al., 2002); sequestram maiores quantidades de carbono (McGREGOR et al., 1999), cujo acúmulo contribui para a redução do efeito estufa (VEIGA & TOURRAND, 2001); e servem como habitat e corredores para espécies vegetais e animais.

Além dos benefícios citados anteriormente, as árvores promovem a estabilização do microclima, protegendo os animais do calor e frio intensos, propiciando a manutenção do conforto térmico com melhoria significativa da produtividade do rebanho, sendo esta atribuída ao bem-estar dos animais (ABEL et al., 1997; NICODEMO, 2005; PORFÍRIO-DA-SILVA, 2006).

A escolha de espécies/arranjos florestais para associação com pastagens requer conhecimentos sobre as características das espécies arbóreas mais apropriadas, de forma a viabilizar essa associação, sem trazer prejuízos aos animais e, ou, a pastagem (MONTROYA et al., 2000), quando a produção animal é o objetivo principal.

Segundo Oliveira (1999), o maior desafio na adoção desses sistemas é a crença de que a presença de árvores reduz o rendimento da cultura principal. Muitos pecuaristas rejeitam o sistema pelos seguintes motivos: a) árvore na pastagem é vista como invasora; b) redução da área útil da pastagem; c) animais acidentados pela presença e queda de galhos ou árvores; e d) dificuldade para fazer a roçada mecânica ou aplicação de herbicidas. Porém, estudos conduzidos na região do Cerrado brasileiro (SILVA, 1999; DUBE et al., 2002; CARVALHO et al., 2003) e no Sul do Brasil (RIBASKI, 2007) demonstram que a adoção de sistemas agrossilvipastoris é economicamente mais atrativa do que os monocultivos de espécies florestais, oferecendo menores riscos de investimento e maior estabilidade nos retornos.

2.3 Qualidade do solo

A qualidade do solo refere-se à capacidade que um determinado tipo de solo apresenta, em ecossistemas naturais ou agrícolas, para desempenhar uma ou mais funções relacionadas a: sustentação da atividade, produtividade e diversidade biológica, manutenção da qualidade do ambiente, promoção da sanidade das plantas e dos animais e sustentação de estruturas sócio-econômicas e de habitação humana (DORAN & PARKIN, 1994; KARLEN et al., 1997).

O funcionamento do solo depende da interação de processos químicos, físicos e biológicos, que mantém um fluxo constante e uma natureza heterogênea (TÓTOLA & CHAER, 2002). Inferir sobre qualidade do solo de forma numérica torna-se uma tarefa difícil, entretanto, estimativas sobre a qualidade do solo podem ser feitas dentro de um marco referencial (REICHERT et al., 2003).

A partir da percepção de que a qualidade do solo influi na produtividade da atividade agrícola, nota-se maior ênfase na discussão sobre qualidade do solo no início dos anos 90, quando a comunidade científica, consciente da importância do solo para a qualidade ambiental, começou a abordar nas publicações a preocupação com a degradação dos recursos naturais, a sustentabilidade agrícola e a função do solo nesse contexto. Lal & Pierce (1991) foram precursores em alertar sobre a relação do manejo do solo e a sustentabilidade da agricultura. Os números alarmantes de áreas degradadas física e quimicamente, contaminadas por agroquímicos e as perspectivas catastróficas fizeram Lal & Pierce (1991) instigar a comunidade científica a buscar sistemas de manejo inovadores, capazes de balancear o requerimento do solo e das culturas.

Segundo Wang & Gong (1998) e Doran & Zeiss (2000), a qualidade do solo é a base para o desenvolvimento da sustentabilidade agrícola e serve como indicador para o manejo do solo e de culturas.

O conceito de sustentabilidade a define como a capacidade de um sistema agrícola produzir alimentos e fibras sem comprometer as condições que viabilizam esse processo de produção e se fundamenta em cinco pilares: produtividade, segurança, proteção, viabilidade e aceitabilidade (SMYTH & DUMANSKI, 1995). Portanto, a sustentabilidade agrícola depende da manutenção da qualidade do solo

no âmbito do ecossistema e da interação positiva com os ecossistemas vizinhos ao longo do tempo (MELLO, 2006).

Considerando o solo como um sistema em que ocorrem interações de atributos físicos, químicos e biológicos, e que estes são variáveis em função do tipo de solo, do clima e do manejo, é pressuposto que a relação entre o manejo e a qualidade pode ser avaliada pelo comportamento desses atributos. Assim, o monitoramento da qualidade do solo pode ser realizado mediante avaliação dos seus atributos, que são importantes para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas (SILVA et al., 2005). Para que seja de utilidade prática, é preciso fazer a escolha de um conjunto mínimo de indicadores que apresentem características como facilidade de avaliação, aplicabilidade em diferentes escalas, capacidade de integração, adequação ao nível de análise da pesquisa, utilização no maior número possível de situações, sensibilidade às variações de manejo e clima e possibilidade de medições por métodos quantitativos e, ou, qualitativos (DORAN et al., 1996; USDA, 2001).

2.4 Indicadores da qualidade do solo

A utilização de indicadores de qualidade do solo, relacionados à sua funcionalidade, constitui uma maneira indireta de mensurar a qualidade dos solos, sendo úteis para o monitoramento de mudanças no ambiente (KARLEN & STOTT, 1994).

Os atributos físicos do solo são bons indicadores de sua qualidade e permitem o monitoramento de áreas que sofreram algum tipo de interferência, determinando o melhor uso daquele que provoca menor degradação (ARSHAD et al., 1996).

A densidade do solo refere-se à relação entre a massa de solo seco e o volume total e é afetada pela cobertura vegetal, teor de matéria orgânica e uso e manejo do solo (CORSINI & FERRAUDO, 1999; SILVA et al., 2000), fazendo referência direta à estrutura do solo.

Além da estrutura, a densidade do solo pode estar relacionada com a textura (ARAÚJO et al., 2004), pois são observados maiores valores para solos arenosos (entre 1,35 e 1,85 kg dm⁻³), enquanto nos solos argilosos esta se apresenta na faixa de 0,95 a 1,25 kg dm⁻³ (ARAÚJO et al., 2004; TORMENA et al., 1998).

A porosidade e a densidade do solo têm sido utilizadas como indicadoras da qualidade do solo por tratar-se de propriedades dinâmicas, suscetíveis ao uso e de fácil determinação, estando relacionadas à compactação e à relativa restrição ao crescimento radicular (ARSHAD et al., 1996).

Assim, o aumento acentuado da densidade do solo pode vir a acarretar uma diminuição do volume total de poros, redução da permeabilidade e da infiltração de água, quebra dos agregados e aumento da resistência mecânica à penetração, o que ocasiona prejuízo à qualidade física do solo.

A resistência mecânica à penetração pode ser definida como a relação entre a força exercida para a penetração no solo, de uma haste provida de um cone metálico numa extremidade, do qual sua área basal é constante e conhecida (BRADFORD, 1980). Refere-se, portanto, à resistência física que o solo oferece e está diretamente relacionada com a compactação do solo, observando-se certas condições como umidade e textura.

Esta medida tem sido frequentemente utilizada para avaliar a qualidade física do solo por ser sensível ao manejo e ter relações diretas com o crescimento radicular (FREDDI et al., 2007) e com a produtividade das plantas (BENGOUGH et al., 2001; BEUTLER et al., 2006).

A estabilidade de agregados é um atributo que também pode ser utilizado na medição da qualidade do solo, pois varia com as características do solo e do sistema de manejo. Solos com intenso tráfego de máquinas ou que sofreram grande revolvimento provocando a quebra dos agregados, podem reduzir drasticamente os valores desse atributo.

De acordo com Sá et al. (2000), a estabilidade de agregados é o atributo que melhor se correlaciona com a erodibilidade do solo, devido à influência na infiltração, retenção de água e aeração, resistência à penetração de raízes, selamento e o encrostamento superficial, erosão hídrica e eólica.

Dentre os fatores que influenciam a formação e a estabilização dos agregados, destacam-se a textura (REICHERT et al., 1993), a mineralogia da fração argila, o tipo e teor de cátions presentes, a matéria orgânica e os tipos de microrganismos (REICHERT & NORTON, 1994; CARTER, 2002), as raízes de plantas e resíduos vegetais (SILVA & MIELNICZUK, 1998) e ainda os sistemas de manejo (LIMA et al., 2003).

Campos et al. (1995), trabalhando em Latossolo Vermelho-Escuro, registraram que após sete anos de uso do sistema plantio direto (SPD), houve incremento de 2,7 vezes na estabilidade de agregados da camada de 0 a 5 cm, período em que a matéria orgânica do solo aumentou de 27 para 39 g kg⁻¹.

Em relação à matéria orgânica do solo (MOS), um dos principais atributos do solo relacionados à sua qualidade é a formação de macroagregados estáveis, os quais são responsáveis pela estrutura do solo, entre outras propriedades emergentes (PASSOS et al., 2007).

A MOS é referida como indicadora da qualidade do solo em virtude de sua suscetibilidade de alteração em relação às práticas de manejo e por correlacionar-se com a maioria das propriedades do solo (MIELNICKZUK, 1999).

A decomposição dos resíduos orgânicos e, por conseguinte, o conteúdo da MOS, são regulados pelo sistema de manejo adotado e pelas características da comunidade microbiana decompositora, do material orgânico e do ambiente onde o processo ocorre, incluindo, nesse caso, as condições edafometeorológicas (BALDOCK & NELSON, 2000).

Dias Júnior & Miranda (2000) e Marcolin (2006) obtiveram resultados que demonstram a contribuição do acúmulo da matéria orgânica na diminuição dos valores de densidade do solo. Em solos de textura mais grosseira, a matéria orgânica apresenta grande influência na estrutura do solo. Segundo Bayer & Mielniczuk (1999), a principal influência da matéria orgânica sobre as propriedades físicas do solo está ligada à agregação, a qual, indiretamente afeta os demais atributos físicos do solo.

Os indicadores químicos de qualidade do solo possuem relativa simplicidade de obtenção, devido a grande parte destes indicadores serem determinados nas análises de fertilidade comumente realizadas nas atividades agrícolas de produção. A avaliação conjunta e individual dos indicadores físicos e químicos mostrará em que nível se encontra a qualidade de um solo

Dentre os principais indicadores químicos da qualidade do solo, destacam-se: pH, carbono orgânico, CTC efetiva, nitrogênio do solo e demais nutrientes disponíveis às plantas (K, P, Ca, Mg). O pH relaciona-se com a solubilidade de nutrientes no solo, exercendo grande influência sobre a absorção dos mesmos pela planta; o carbono orgânico vem a ser um importante indicador, pois baixos valores deste podem afetar a produtividade em razão de seu efeito na estrutura, na disponibilidade de água para as plantas e no seu poder de tamponamento; a CTC é um indicador devido à

quantidade de cátions retidos na superfície das argilas; o nitrogênio do solo atua de forma que sua maior capacidade de mineralização favorece o aumento da produtividade; os nutrientes indicam a qualidade pois a presença destes favorecem o aumento da produtividade (GOMES & FILIZOLA, 2006).

A quantificação do teor de alumínio (Al^{3+}) também vem a ser um importante indicador de qualidade devido à fitotoxidez às plantas e porque se constitui em uma das principais limitações químicas ao uso agrícola em ecossistemas tropicais, em razão de sua capacidade de gerar acidez no solo, devido às reações de hidrólise do Al^{3+} hidratado em solução (MARSCHNER, 1995).

2.5 Atributos do solo em sistemas silvipastoris

Em sistemas silvipastoris, o solo pode ser considerado um fator determinante para o crescimento de gramíneas e árvores, devido aos seus atributos físicos e químicos atuarem diretamente no desenvolvimento e estabelecimento dessas plantas.

A compactação do solo em sistemas pastoris vem a ser um dos maiores problemas associados à degradação da qualidade estrutural e física do solo (SILVA et al., 2002). O pisoteio animal pode resultar na compactação do solo, pois afeta seus atributos físicos pela deformação de sua estrutura, promove mudanças na densidade e porosidade e influi na resistência mecânica à penetração.

Nesse sentido, os parâmetros mais comumente utilizados na avaliação da compactação pelo pisoteio animal são a densidade do solo e a resistência do solo à penetração (SILVA et al. 2002).

Maia et al. (2006), avaliando o impacto de três sistemas agrossilvipastoris, um sistema silvipastoril e um sistema de cultivo intensivo, na qualidade do solo, constataram que o tratamento correspondente ao sistema silvipastoril apresentou os melhores resultados quanto ao percentual de agregados estáveis em água, nas camadas mais superficiais, em comparação com os outros tratamentos supra citados. Esse resultado foi atribuído ao não revolvimento do solo e à ação das raízes no fornecimento de material orgânico, nas camadas superficiais. Segundo Silva & Mielniczuk (1997), as raízes produzem agregação estável mediante o suprimento de resíduos orgânicos para a decomposição, exsudações de substâncias orgânicas, envolvimento físico de microagregados e reorientação e aproximação de partículas e

microagregados por dessecamentos localizados. O tratamento silvipastoril em contrapartida, apresentou os piores resultados em relação à capacidade de troca catiônica, saturação por bases e pH em água e em KCl, em relação aos outros tratamentos supracitados.

Pezzoni et al. (2012) estudando a influência de árvores de sucupira branca (*Pterodon emarginatus*) nos atributos do solo em sistema silvipastoril, confirma a contribuição da serrapilheira com volume de material orgânico três vezes maior na área de abrangência das árvores do que a trinta metros de distância. Segundo eles, o acúmulo de material formador da serrapilheira sob as árvores pode favorecer os atributos químicos e físicos do solo, interferindo no desenvolvimento da gramínea.

Neste mesmo trabalho, os autores observaram menores valores de densidade do solo em áreas próximas ao tronco das árvores, sendo que esses valores foram crescentes em relação à distância das árvores (tanto maiores quanto maior a distância das árvores).

O mesmo comportamento foi observado para porosidade total e macroporosidade, em que os maiores valores se apresentaram quanto mais próximo do caule. Os autores explicam e citam que a maior concentração de serrapilheira encontrada com a proximidade dos caules favorece a agregação do solo e, com isso, aumenta a porosidade total e que em solo onde não há o revolvimento periódico e intensivo, a matéria orgânica participa como estabilizador dos agregados refletindo na porosidade total e na massa da matéria seca de serrapilheira. A microporosidade e a resistência mecânica à penetração foram tanto maiores quanto maior o afastamento do caule das árvores. Quanto aos atributos químicos nesse trabalho, o potássio apresentou tendência à diminuição com a distância e o magnésio apresentou maiores valores a uma distância entre 15 e 20 metros do caule.

Os estudos com sistemas silvipastoris têm demonstrado o efeito positivo da presença das árvores sobre a fertilidade do solo sendo o aumento da matéria orgânica do solo o efeito mais amplamente constatado (OLIVEIRA et al., 2000; PEZZONI et al., 2012).

3. CAPÍTULOS

3.1. ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM SISTEMA SILVIPASTORIL

3.1.1 RESUMO

A qualidade do solo é tida como a base para o desenvolvimento da sustentabilidade agrícola servindo como indicador para o manejo do solo e das culturas. Neste experimento foram avaliadas alterações nos atributos físicos do solo em sistema silvipastoril em duas avaliações, tomados em um gradiente de distância das árvores, com objetivo de avaliar a influência do componente arbóreo nos atributos físicos do solo sob sistema silvipastoril, a partir de indicadores físicos de qualidade. O trabalho foi desenvolvido na área experimental da Embrapa Pecuária Sudeste, em São Carlos, SP, entre os anos de 2010 e 2012. Em cerca de oito hectares, as árvores foram plantadas em faixas distanciadas de 15 m nas pastagens, com proteção de cerca elétrica. As coletas foram feitas em 4 pontos amostrais referentes às distâncias em relação ao renque de árvores: 0,0 m; 2,0 m; 4,75 m e 8,5 m; em 3 profundidades: 0-10 cm; 10-20 cm e 20-40 cm; e 4 repetições. Foram determinados: densidade do solo, macro e microporosidade, estabilidade de agregados, resistência do solo à penetração. Os resultados mostraram que existe a predominância de agregados na maior classe, em todas as profundidades, o que expressa uma característica extremamente desejável do ponto de vista conservacionista. Todavia, os valores de densidade do solo, a relação entre microporosidade e macroporosidade e resistência do solo à penetração, foram, de maneira geral, altos e indicam possivelmente, a ação negativa do pisoteio do gado sem, contudo, expressar a interferência da arborização sobre a qualidade física do solo.

Palavras-chave: física do solo; qualidade do solo; pisoteio animal; sistemas agroflorestais

3.1.2. ABSTRACT

The soil quality is considered the basis for the development of agricultural sustainability serving as an indicator for the management of soil and crops. In this experiment changes in soil physical properties in silvopastoral system were assessed in two evaluations, taken on a gradient away from the trees. The study was conducted at Embrapa South-East Cattle Research Center, Sao Carlos, SP, Brazil (21° 57' 33" S; 47° 51' 06" W) between the years 2010 and 2012. In about eight hectares, the trees were planted in strips spaced 15 m in pastures with electric fence protection. Sampling Physical attributes were determined: soil density, macro and micro porosity, aggregate stability and soil resistance to penetration. Data were submitted to analysis of variance and mean treatment were compared by Tukey test at 5% probability. The results show that there is a predominance of aggregated in the larger class, at all depths, which expresses a highly desirable characteristic from the point of view of conservation. However, the D_s values, the relationship between (M_i / M_a) and the resistance to penetration in soil were high which shows the possible negative action of cattle trampling. Yet this does not express the interference of afforestation in the soil physics quality.

Key-words: physical soil, soil quality, animal trampling; agrosilvopastoral systems

3.1.3. INTRODUÇÃO

O Brasil possui clima que favorece a exploração de pastagens com alto potencial de produção de biomassa. Em 2010 os dados sobre sistemas agrossilvipastoris mostraram que o crescimento das áreas de lavouras e pastagens plantadas sobre pastagens naturais atingiu 65 milhões de hectares, correspondendo a 7,7% da superfície total do país (IBGE, 2010).

O solo possui grande importância como recurso da natureza, por realizar funções que influenciam diversos constituintes do ambiente. Quando em equilíbrio, ou mesmo, quando apresenta certa qualidade referente a aspectos físicos, químicos e biológicos, este vem a contribuir para sustentabilidade dos sistemas pastoris.

A utilização de sistemas de manejo do solo que envolva pastejo animal pode acarretar mudanças nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, e em decorrência, afetar o crescimento e o desenvolvimento radicular e a produção das culturas implantadas na sequência do pastejo (SILVA et al. 2003). Por outro lado, as pastagens contribuem favoravelmente para a conservação do solo devido à proteção da superfície do solo e à produção de biomassa, colaborando na ciclagem de nutrientes na camada superficial do solo.

Sabendo-se que o desenvolvimento agrícola envolve, de forma inevitável, certo grau de transformação física das paisagens e a antropização dos ecossistemas, faz-se necessário, portanto, conhecer estratégias que enfatizem procedimentos que levem a um desenvolvimento ecologicamente sustentável (ALTIERI & NICHOLLS, 2000).

Dessa forma, tem-se nos sistemas agroflorestais (SAF's) uma alternativa de produção agropecuária que promove a minimização do efeito da intervenção humana. Essa combinação de espécies agrícolas e espécies arbóreas vêm sendo atribuída à melhoria nas propriedades físico-químicas dos solos, bem como na atividade de microrganismos, por se considerar a possibilidade de diferentes fontes de matéria orgânica (MENDONÇA et al., 2001).

Sabendo-se da importância da qualidade dos solos para os sistemas produtivos, objetivou-se com este estudo, avaliar a influência do componente arbóreo

nos atributos físicos do solo sob sistema silvipastoril, a partir de indicadores físicos de qualidade.

3.1.4. MATERIAL E MÉTODOS

Localização e descrição geral do experimento

O trabalho foi desenvolvido entre os meses de fevereiro de 2010 e outubro de 2012 na fazenda Canchim, pertencente à Embrapa Pecuária Sudeste, localizada em São Carlos, SP (21° 57' 33" S; 47° 51' 06" W). O relevo da região é considerado suave - ondulado, com declives de 3 a 5%, e o clima é classificado como Cwa (Köppen) com duas estações bem definidas: seca de abril a setembro e chuvosa de outubro a março. A chuva total anual apresenta média de 1361,3 mm. A temperatura média anual (média das máximas e mínimas) foi de 21,5°C, sendo os meses de junho e julho mais frios (18,4°C) e fevereiro o mais quente (23,7°C). A umidade relativa média anual do ar é de 75,6% e a altitude média de 850 m.

O experimento foi implantado em área formada por *Brachiaria decumbens* em Latossolo Vermelho Amarelo e Latossolo Vermelho (EMBRAPA, 2006) ambos de textura média.

No ano de 2007, duas áreas de 275 m x 140 m foram divididas em seis piquetes de 0,41 hectares cada (15 x 275 m). As espécies florestais foram plantadas diretamente nas pastagens, em faixas de sete metros e meio de largura. As faixas foram distanciadas em 15 m, formadas por três linhas de árvores, acompanhando o nível do terreno com espaçamento entre árvores de 2,5 m x 2,5 m (Figura 2).



Figura 1. Vista aérea da área experimental (áreas delimitadas em amarelo) e piquetes onde foram retiradas as amostras (delimitados em vermelho).

As espécies florestais plantadas na linha central foram: angico-branco (*Anadenanthera colubrina*); canafístula (*Peltophorum dubium*); ipê-felpudo (*Zeyheria tuberculosa*); jequitibá-branco (*Cariniana estrellensis*) e pau-jacaré (*Piptadenia gonoacantha*). Para tutoramento destas espécies e para disponibilizar recursos para a fauna foram plantadas duas linhas marginais de mutambo (*Guazuma ulmifolia*) e de capixingui (*Croton floribundum*).

Foram aplicados nas covas das árvores ao plantio: 30 g calcário dolomítico, 100 g de NPK 8-28-16 e 10 g de FTE BR12. Em novembro/2008, as árvores receberam 100 g de NPK 08-28-16 na coroa, recebendo nova adubação no final das chuvas (50 g de sulfato de amônia planta⁻¹).

Os tratos culturais envolveram o combate às formigas cortadeiras, roçada do capim nas faixas de árvores e coroamento das mudas, a fim de minimizar a competição das invasoras. O pasto foi adubado conforme a recomendação técnica.

A área total do experimento foi dividida em duas áreas, cada uma com seis piquetes de aproximadamente 4125 m² cada, que foram manejados em um sistema rotacionado de 7 dias de ocupação por 35 dias de descanso.

Na Figura 2 é apresentado um croqui da área experimental onde são representadas as espécies madeireiras na linha central (M), as espécies tutoras nas linhas marginais (C) e os quatro pontos de avaliação.

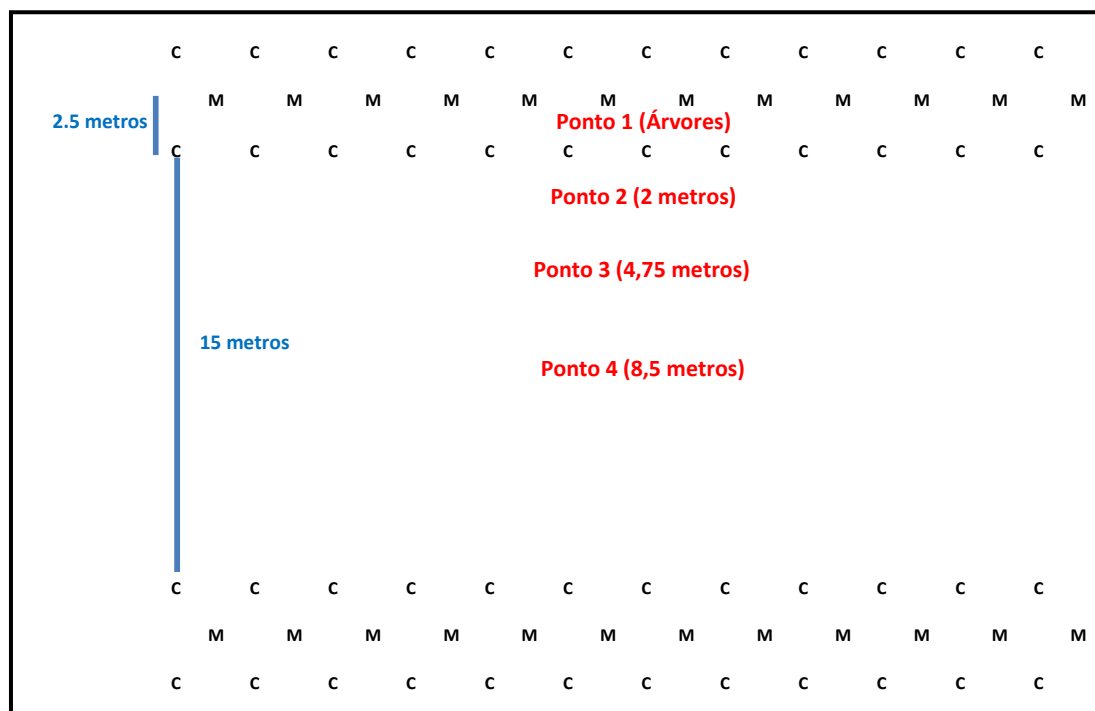


Figura 2. Representação das espécies madeireiras e tutoras no sistema silvipastoril e localização dos pontos de avaliação.

Na figura 3 são apresentadas imagens do experimento em seis momentos (janeiro de 2010, agosto de 2010, outubro de 2010, outubro de 2011, dezembro de 2011 e maio de 2012), mostrando a evolução da área experimental com o desenvolvimento das árvores.



Figura 3. Ilustrações do experimento durante a vigência do projeto.

Avaliação dos atributos físicos do solo sob a influência da arborização

Em duas épocas na condução do trabalho (fevereiro de 2010 e março de 2012), os atributos físicos foram avaliados nas parcelas experimentais, em um total de quatro repetições (quatro piquetes do sistema), respeitando-se a forma de coleta e número de subamostras às condições de parcela experimental, buscando-se manter a mesma classe de solo e topografia.

Para determinação da densidade do solo, em cada parcela foram coletadas amostras indeformadas de solo, com auxílio de anéis volumétricos de 100 cm³, nas

distâncias pré-estabelecidas em relação às árvores, retiradas nas profundidades de 0-10; 10-20 e 20-40 cm. Após a coleta de solo pelos anéis, estes foram limpos por fora, tampados e vedados com gaze e elástico sendo posteriormente transportados para o laboratório de Física do Solo do Centro Universitário Norte do Espírito Santo da UFES, para posteriores procedimentos segundo metodologia da Embrapa (1997).

A porosidade total (P_T) foi determinada por meio da relação entre densidade do solo (D_s) e densidade de partículas do solo (D_p), conforme equação 1. A microporosidade (P_{MI}) foi determinada por meio da quantidade de água retida nas amostras indeformadas de solo submetidas à tensão de -0,006 MPa, empregando-se Unidade de Sucção para baixas tensões. A macroporosidade (P_{MA}) foi calculada pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade, tendo todos os procedimentos padronizados segundo a metodologia da Embrapa (1997).

$$P_T = 1 - D_s/D_p \quad (\text{Equação 1.})$$

Para a avaliação da estabilidade de agregados, foi calculado o teor de agregados retidos em cada peneira, expresso na seguinte ordem: 4-2 mm; 2-1 mm; 1-0,50 mm; 0,50-0,25 mm, pela expressão: Teor de agregados = $1.000 (a / b)$, sendo a = peso do agregado a 105°C e b = peso da amostra seca a 105°C, conforme Embrapa (1997). As coletas foram realizadas nas profundidades de 0-10; 10-20 e 20-40 cm, em 4 repetições, com auxílio de um enxadão sem a destruição dos torrões de solo. Estes foram acondicionados temporariamente em sacos plásticos e transportados para o laboratório de Física do Solo do Centro Universitário Norte do Espírito Santo da UFES. Posteriormente, foram expostos para secagem ao ar. No preparo das amostras, os torrões foram fragmentados manualmente tomando-se o cuidado para que não houvesse a destruição dos agregados. Para a avaliação da estabilidade de agregados, as amostras foram obtidas em peneira com abertura de malha de 4 mm, sendo retidas em peneira de 2 mm. Após, foram pesadas amostras de 50 g em triplicata, secando-se a primeira amostra em estufa a 105 °C por 24 horas e as amostras restantes sendo colocadas em aparelho de oscilação vertical (Aparelho de Yooder), conforme metodologia da Embrapa (1997). A figura 4 ilustra alguns procedimentos das metodologias citadas acima.



Figura 4. Procedimentos para análise de porosidade total, macroporosidade e microporosidade (à esquerda) e para análise de estabilidade de agregados (à direita).

A resistência do solo à penetração (RP) foi avaliada em todas as áreas experimentais, nas quatro distâncias pré-estabelecidas em relação ao renque de árvores, nas camadas de 0,0–0,1; 0,1–0,2; 0,2–0,3 e 0,3–0,4 m, utilizando penetrômetro de impacto (modelo IAA/Planalsucar- Stolf) (STOLF et al., 1983), com ângulo de cone de 30°. Para cada uma das quatro repetições, em cada tratamento, a RP foi determinada em seis pontos diferentes, obtendo-se posteriormente a média. A umidade do solo foi determinada, nas mesmas camadas, em amostras retiradas com trado holandês, as quais foram secas em estufa a ± 105 °C durante 24 horas, segundo método da Embrapa (1997).

Os dados obtidos foram submetidos à Análise de Variância e as médias, quando necessário, foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

3.1.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve diferença estatística entre as posições de coleta em relação ao renque de árvores, exceto para a macroporosidade nos anos de 2010 e 2012 e resistência mecânica do solo à penetração no ano de 2010.

Para a estabilidade de agregados, de acordo com os dados apresentados (tabela 1) para o ano de 2010, nota-se que o maior percentual de agregados ficou retido na classe 4-2 mm, na profundidade de 0-10 cm, tendo esse valor decrescido significativamente nas outras duas profundidades. Este fato pode ser atribuído a um incremento de matéria orgânica (MO) no solo proveniente do sistema de pastejo utilizado, promovendo a melhoria da estrutura e agregação do solo. Segundo Martins et al. (2002), a cobertura e o fornecimento contínuo de material orgânico atuam como agente de formação e estabilização da estrutura. Isto também é constatado ao se comparar as profundidades de 10-20 e 20-40 cm. Todavia, nestas duas profundidades, também o maior percentual de agregados retidos foi na maior classe, demonstrando o efeito de agregação do solo decorrente do manejo utilizado, ou seja, a não mobilização do solo e o aporte contínuo de carbono. Os resultados indicam que o solo possui boa estruturação, menos sujeita à dispersão, o que se constitui em característica de grande importância do ponto de vista conservacionista e hídrico no solo.

Tabela 1. Valores médios da estabilidade dos agregados em água, por classe de tamanho, densidade do solo (Ds), microporosidade (Mi) e macroporosidade (Ma) em três profundidades de amostragem, em fevereiro de 2010 em um sistema silvipastoril em São Carlos, SP.

Prof. (cm)	Classes de agregados (mm)					Ds (g cm ⁻³)	Mi (%)	Ma (%)
	4-2	2 a 1	1-0,5	0,5-0,25	< 0,25			
	%							
0-10	95,71 a	1,04 c	0,84 b	1,04 b	1,38 b	1,46 a	26,46 a	12,13 b
10-20	87,12 b	3,80 b	3,49 b	3,31 b	2,29 b	1,52 a	24,35 ab	11,68 b
20-40	69,32 c	8,41 a	10,30 a	7,86 a	4,12 a	1,47 a	23,21 b	14,68 a

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste Tukey 5% de probabilidade.

A profundidade de 10-20 cm apresenta maior percentual de agregados na classe (4-2 mm) quando comparada com a profundidade 20-40 cm, o que pode ser explicado pela maior presença de raízes nessa camada, fato que é corroborado por Liu & Bomke (2005), ao citar que o efeito das pastagens na agregação do solo é atribuído ao crescimento e à atividade do sistema radicular das gramíneas.

As demais classes de agregados dentro das duas profundidades mais superficiais apresentaram percentuais de agregados muito semelhantes. Na camada mais profunda, no entanto, os valores são maiores que na superfície e sem um padrão uniforme de comportamento dos agregados. Sabe-se que em maior profundidade, com a menor influência da matéria orgânica, há uma tendência de que os agregados sejam menores e, portanto, mais dispersos.

Na coleta de março de 2012, para os macroagregados da classe (4-2 mm), constatou-se aumento de 5,2% na profundidade de 10-20 cm e aumento de 20,25% na profundidade 20-40 cm, quando comparados com os valores do ano anterior, diminuindo assim a proporção dos agregados das outras classes para ambas profundidades (Tabela 2). Como as duas profundidades mais superficiais não diferiram estatisticamente, pode-se inferir a influência benéfica do tempo de condução do sistema no incremento da MO do solo e sua contribuição para manutenção da estrutura estável do solo.

Carvalho et al. (2004) em trabalho avaliando a qualidade física de um solo sob sistema agroflorestal, também observaram os efeitos benéficos do aporte de matéria orgânica oriunda de um sistema agroflorestal. Segundo este trabalho, o SAF apresentou melhores valores de porosidade total, estado de agregação, bem como menores valores de densidade do solo e resistência mecânica à penetração quando comparado ao mesmo solo sob sistema de plantio convencional.

Tabela 2. Valores médios da estabilidade dos agregados em água, por classe de tamanho, densidade do solo (Ds), microporosidade (Mi) e macroporosidade (Ma) em três profundidades de amostragem, em março de 2012 em um sistema silvipastoril em São Carlos, SP.

Prof. (cm)	Classes de agregados (mm)					Ds (g cm ⁻³)	Mi (%)	Ma (%)
	4-2	2 a 1	1-0,5	0,5-0,25	< 0,25			
	%							
0-10	91,17 a	2,71 a	2,29 b	2,72 ab	1,11 b	1,45 b	36,42 a	10,02 a
10-20	91,71 a	2,81 a	2,24 b	2,17 b	1,07 b	1,64 a	31,85 b	6,49 b
20-40	83,36 b	5,11 a	4,58 a	4,52 a	2,43 a	1,61 a	30,66 b	8,87 ab

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste Tukey 5% de probabilidade.

Os resultados de densidade do solo em 2010 nas três profundidades, apesar de não apresentarem diferença significativa, estão acima dos valores desejáveis para o presente solo (Tabela 1), fato que também é percebido para o ano de 2012 (Tabela 2). Segundo Goedert et al. (2002), valores entre 0,7 e 1,0 g cm⁻³ podem ser considerados normais em Latossolo Vermelho, propondo que 0,9 g cm⁻³ seja o máximo permitido quando se deseja sustentabilidade no uso de latossolos.

As profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm apresentaram menores valores de macroporosidade e maiores valores de microporosidade em relação à profundidade de 20-40 cm em 2010 (Tabela 1).

Comparando-se os dois anos (Tabelas 1 e 2), a microporosidade na profundidade 0-10 cm apresentou aumento de 37,8% em 2012 tendo a macroporosidade apresentado redução de 21,5%. O mesmo ocorreu para as outras duas profundidades, com aumento de 30,8% na profundidade de 0-10 cm e redução

de 55% na profundidade de 20-40 cm. A relação micro/macroporos considerada ideal deve ser em torno de 2:1 visando um equilíbrio entre retenção de água e permeabilidade do solo. No ano de 2010 esta relação aproxima-se deste valor nas três profundidades. Contudo, no ano de 2012 os valores são superiores a 3:1, ou seja, podem estar ocorrendo efeitos indesejáveis do pisoteio do gado sobre a porosidade do solo.

A macroporosidade em diferentes distâncias da linha arbórea, para o ano de 2010 e 2012 (Tabela 3), apresentou melhor resultado para a posição 0,0 m, ou seja, sob as árvores, em relação às outras distâncias. Ao analisar o comportamento da macroporosidade nos dois anos, nas diferentes distâncias da linha arbórea (Tabela 3), houve redução nos valores desta variável no ano de 2012 em todas as posições, sendo menos pronunciada na posição 0,0 - linha arbórea. Este fato vem a ser um reflexo da maior atividade biológica na área da copa das árvores pela presença de material vegetal, promovendo efeitos na estrutura do solo.

Tabela 3. Valores médios macroporosidade (%) em quatro distâncias da linha arbórea (posição) em dois momentos de avaliação em um sistema silvipastoril em São Carlos, SP.

Posição (m)	Fevereiro de 2010	Março de 2012
0,00	14,85 a	10,68 a
2,00	11,25 b	7,65 ab
4,75	12,51 ab	9,19 ab
8,50	12,71 ab	6,32 b

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste Tukey 5% de probabilidade.

Quanto à resistência mecânica do solo à penetração, para o ano de 2010 (Tabela 4), o maior valor de resistência foi constatado na profundidade 0-20 cm, camada mais superficial. Este resultado é coerente com os valores de microporos e de macroporos encontrados nesta mesma camada, todavia, com base na estabilidade de agregados, este resultado não seria esperado. Por outro lado, explica-se a maior resistência à penetração nesta camada devido ao pisoteio promovido pela presença de animais em pastejo. Cassol (2003) cita que o efeito do pisoteio animal sobre as

propriedades físicas do solo é limitado às suas camadas mais superficiais podendo ser temporário e reversível.

Tabela 4. Valores médios de resistência mecânica do solo à penetração (MPa) e umidade gravimétrica (Ug) em duas profundidades em dois momentos de avaliação em um sistema silvipastoril em São Carlos, SP.

Prof. (cm)	Fevereiro de 2010		Março de 2012	
	RP	Ug	RP	Ug
0-20	1,73 a	14,2	1,51 b	16,4
20-40	1,58 b	14,1	2,32 a	16,5

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste Tukey 5% de probabilidade.

Já no segundo ano de avaliação, a resistência mecânica do solo à penetração apresentou resultado contrário àquele observado em 2010 (Tabela 4). Em 2012, foi observada redução de 14,5% na profundidade de 0-20 cm, tendo a profundidade de 20-40 cm apresentado um acréscimo de 68% comparado ao ano de 2010. Essa redução no valor de resistência à penetração na camada mais superficial reflete os efeitos da incorporação da matéria orgânica ao solo.

A resistência à penetração (Tabela 5) apresentou o menor valor para a posição 0,0 m. Pode-se inferir que, por esta posição estar na área de abrangência das árvores, esse aumento da macroporosidade pode ser devido à quantidade de material vegetal acrescido ao solo pela senescência das folhas, o que também explica a menor resistência à penetração do solo, já que a presença de matéria orgânica promove a melhoria da estrutura do solo.

Tabela 5. Valores médios de resistência à penetração (MPa) e umidade gravimétrica (Ug) em diferentes distâncias da linha arbórea (posição) referentes ao ano de 2010

Posição	RP	Ug
0,00 m	1,54 b	14,0
2,00 m	1,62 ab	14,9
4,75 m	1,76 a	13,5
8,5,0 m	1,69 ab	14,0

Médias seguidas de mesma letra na não diferem estatisticamente pelo teste Tukey 5% de probabilidade.

A resistência à penetração nas demais distâncias em relação ao renque de árvores foi maior na posição 4,75 m, apesar de não diferir estatisticamente das posições 2 e 8,5 m, podendo também justificar esse maior valor correspondente ao menor valor de umidade. Netto et. al. (2009) encontraram maiores valores de resistência à penetração na camada de 0-5 cm, onde cita que este fato evidencia o tipo de manejo e a presença de muitos animais em longo tempo de uso.

3.1.6. CONCLUSÕES

1. Os atributos físicos do solo tiveram comportamento diferenciado. Foi constatada a presença de agregados estáveis em água, ou seja, predominância de agregados na maior classe de agregados, em todas as profundidades, o que expressa uma característica extremamente desejável do ponto de vista conservacionista.
2. Os valores de D_s , a relação entre M_i/M_a e resistência do solo à penetração, foram, de maneira geral, altos e indicam possivelmente, a ação negativa do pisoteio do gado sem, contudo, expressar a interferência da arborização sobre a qualidade física do solo.
3. São necessárias avaliações ao longo do tempo para acompanhamento desses atributos, esperando-se que com a estabilização do sistema, se possa chegar a melhores resultados sobre a influência da arborização nos sistemas silvipastoris.

3.1.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARVALHO, M. M. **Benefícios da arborização em pastagens cultivadas**. In: Leite: agronegócio e tecnologias para as Regiões Sul e Centro-Sul Fluminense. Juiz de Fora, Embrapa Gado de Leite, 2004. 218 p.

SILVA, A.P.; INHOFF, S. & CORSI, M. Evaluations soil compaction in an irrigated short-duration grazing system. **Soil & Tillage Research.**, v. 70, p.83-90, 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA IBGE. **Indicadores de Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 10 de fev. de 2013.

ALTIERI, M.; NICHOLLS, C. I. **Agroecología: teoria y practica para una agricultura sustentable**. Mexico: Pnuma/Orpalc, 2000. p.250 (Série Textos Básicos para La Formación Ambiental).

MENDONÇA, E. S.; LEITE, L. F. C.; FERREIRA NETO, P. S. F. Cultivo do café em sistema agroflorestal: uma opção para recuperação de solos degradados. **Revista Árvore**, v.25, n.3, p.375-383, 2001.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA — EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V.L. Penetrômetro de impacto IAA/Planalsucar-STOLF (Recomendações para seu uso). **STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.3, p.18-23, 1983.

MARTINS, S.G.; SILVA, M.L.N.; CURI, N. & FERREIRA, M.M. Avaliação dos atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférrico sob diferentes povoamentos florestais. **Cerne**, 18:32-41, 2002.

LIU, A.; MA, B.L. & BOMKE, A.A. Effects of cover crops on soil aggregate stability, total organic carbon, and polysaccharides. **Soil Science Society of America Journal** ., v. 69, p.2041-2048, 2005.

CARVALHO, R.; GOEDERT, W.J.; ARMANDO, M.S. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p.1153-1155, 2004.

GOEDERT, W. J.; SCHERMACK, M. J.; FREITAS, F. C. Estado de compactação do solo em áreas cultivadas no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 2, p. 223-227, 2002.

CASSOL, L.C. Relação solo-planta-animal num sistema de integração lavoura-pecuária em semeadura direta com calcário na superfície. Porto Alegre, (**Tese de Doutorado**). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003. 157p.

NETTO, I. T. P.; KATO, E.; GOEDERT, W. J. Atributos físicos e químicos de um latossolo vermelho-amarelo sob pastagens com diferentes históricos de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol.33, n.5, p. 1441-1448, 2009.

3.2. CAPÍTULO 2. ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM SISTEMA SILVIPASTORIL

3.2.1. RESUMO

Os sistemas silvipastoris atuam favorecendo a recuperação de pastagens, diversificando a produção de propriedades e gerando produtos e lucros adicionais, permitindo uma redução externa de insumo, intensificando o uso do solo e seu potencial produtivo em longo prazo. Neste estudo foram avaliadas alterações nos atributos químicos do solo em sistema silvipastoril em duas avaliações, tomados em um gradiente de distância das árvores, com objetivo avaliar a influência do componente arbóreo nos atributos químicos do solo sob sistema silvipastoril. O trabalho foi desenvolvido na área experimental da Embrapa Pecuária Sudeste, em São Carlos, SP (21° 57' 33" S; 47° 51' 06" W), entre os anos de 2010 e 2012. Em cerca de oito hectares, as árvores foram plantadas em faixas distanciadas de 15 m nas pastagens, com proteção de cerca elétrica. As coletas foram feitas em quatro pontos amostrais referentes às distâncias em relação ao renque de árvores: 0,0 m; 2,0 m; 4,75 m e 8,5 m; em três profundidades: 0-10 cm; 10-20 cm e 20-40 cm; e cinco repetições. Foram determinados valores médios de: pH H₂O, pH CaCl₂, MO, P-resina, K, Ca, Mg, H+Al, Al, CTC, S, V e m. Os resultados mostraram que os atributos químicos que expressam melhoria da fertilidade do solo foram sempre maiores na profundidade de 0-10 cm e não foram beneficiados pela presença das árvores.

Palavras-chave: fertilidade do solo; sustentabilidade; sistemas agroflorestais

3.2.2. ABSTRACT

The silvopastoral systems act favoring the recovery of pastures, diversifying the production of soil properties and generating products and additional profits, enabling a reduction of external inputs, intensifying the land use and its productive potential in the long term. This study assessed changes in soil chemical properties in silvopastoral system in two evaluations, taken on a gradient away from the trees. The study was conducted at Embrapa South-East Cattle Research Center, Sao Carlos, SP, Brazil (21° 57' 33" S; 47° 51' 06" W), between the years 2010 and 2012. In about eight hectares, the trees were planted in strips spaced 15 m in pastures with electric fence protection. Sampling was made at 4 different points regarding the distances from the row of trees: 0,0m; 2 m; 4,75 m; 8,5 m; at 3 depths: 0-10 cm; 10-20 cm; 20-40 cm, with 5 repetitions. Mean values were determined: pH in water (pH H₂O), pH in calcium chloride (CaCl₂ pH), organic matter (OM), P-resin (resin P), potassium (K), calcium (Ca) and magnesium (Mg), potential acidity (H + Al), and exchangeable aluminum (Al), cation exchange capacity, sulfur (S), base saturation (V) and aluminum saturation (m), according to the methodology of Embrapa (1997). Data were submitted to analysis of variance and mean treatment were compared by Tukey test at 5% probability. The results showed that the chemical attributes that indicate the improvement in soil fertility were always higher at a depth of 0-10 cm and were not benefited by the presence of trees.

Key-words: chemical attributes of soil; fertility in silvopastoral system; fertility in pastures; silvopastoral systems

3.2.3. INTRODUÇÃO

O solo é um importante recurso da natureza com a capacidade de realizar várias funções que exercem influência sobre os constituintes do ambiente. Quando se apresenta em bom estado de conservação e exprime certa qualidade, contribui muito para a sustentabilidade dos sistemas pastoris (NETTO et al., 2009).

O componente arbóreo, quando introduzido em sistemas de produção pecuários, tem por objetivo a diminuição dos impactos ambientais negativos, próprios dos sistemas tradicionais de criação de gado. Estes sistemas silvipastoris favorecem a recuperação de pastagens degradadas, diversificando a produção das propriedades e gerando produtos e lucros adicionais, o que permite reduzir a dependência externa de insumos, intensificando o uso do recurso solo e seu potencial produtivo em longo prazo (FRANKE & FURTADO, 2001).

Segundo Carvalho et al. (2002), o componente arbóreo em um sistema silvipastoril exerce sua influência via ciclagem de nutrientes, uma vez que adiciona nutrientes ao ecossistema, através da deposição de biomassa da parte aérea e da rizociclagem, contribuindo, assim, para um enriquecimento mineral do solo. Possui um interesse particular o papel das leguminosas arbóreas, por possuírem capacidade para fixar nitrogênio (N) do ar atmosférico, posto que, nas condições comuns de escassez de N no solo, a leguminosa contribuirá à elevação dos níveis desse nutriente sob a forma de matéria orgânica (CARVALHO, 2004).

Considerando-se que, em geral, os solos tropicais possuem baixa fertilidade, a matéria orgânica, a partir da liberação de seus nutrientes, proporciona significativa contribuição como fonte de energia para os organismos e plantas (CORDEIRO, 2006). O conteúdo orgânico do solo pode melhorar a estabilidade dos agregados e ter relevância nos atributos químicos em solos tropicais.

Objetivou-se no presente trabalho avaliar a influência do componente arbóreo nos atributos químicos em um sistema silvipastoril.

3.2.4. MATERIAL E MÉTODOS

Localização e descrição geral do experimento

O trabalho foi desenvolvido entre os meses de fevereiro de 2010 e outubro de 2012 na fazenda Canchim, pertencente à Embrapa Pecuária Sudeste, localizada em São Carlos, SP (21° 57' 33" S e 47° 51' 06" W). O relevo da região é considerado suave - ondulado, com declives de 3 a 5%, o clima é classificado como Cwa (Köppen) com duas estações bem definidas: seca de abril a setembro e chuvosa de outubro a março. A chuva total anual apresenta média de 1361,3 mm. A temperatura média anual (média das máximas e mínimas) foi de 21,5°C, sendo os meses de junho e julho mais frios (18,4°C) e fevereiro o mais quente (23,7°C). A umidade relativa média anual do ar é de 75,6% e a altitude média de 850 m.

O experimento foi implantado em área formada por *Brachiaria decumbens* em Latossolo Vermelho Amarelo e Latossolo Vermelho (EMBRAPA, 2006) de textura média.

No ano de 2007, duas áreas de 275 m x 140 m foram divididas em seis piquetes de 0,41 hectares cada (15 x 275 m). As espécies florestais foram plantadas diretamente nas pastagens, em faixas de sete metros e meio de largura. As faixas foram distanciadas em 15 m, formadas por três linhas de árvores, acompanhando o nível do terreno com espaçamento entre árvores de 2,5 m x 2,5 m (Figura 2).



FFigura 1. Vista aérea da área experimental (áreas delimitadas em amarelo) e piquetes onde foram retiradas as amostras (delimitados em vermelho).

As espécies florestais plantadas na linha central foram: angico-branco (*Anadenanthera colubrina*); canafístula (*Peltophorum dubium*); ipê-felpudo (*Zeyheria tuberculosa*); jequitibá-branco (*Cariniana estrellensis*) e pau-jacaré (*Piptadenia gonoacantha*). Para tutoramento destas espécies e para disponibilizar recursos para a fauna foram plantadas duas linhas marginais de mutambo (*Guazuma ulmifolia*) e de capixingui (*Croton floribundum*).

Foram aplicados nas covas das árvores ao plantio: 30 g calcário dolomítico, 100 g de NPK 8-28-16 e 10 g de FTE BR12. Em novembro/2008, as árvores receberam 100 g de NPK 08-28-16 na coroa, recebendo nova adubação no final das chuvas (50 g de sulfato de amônia planta⁻¹).

Os tratos culturais envolveram o combate às formigas cortadeiras, roçada do capim nas faixas de árvores e coroamento das mudas, a fim de minimizar a competição das invasoras. O pasto foi adubado conforme a recomendação técnica.

A área total do experimento foi dividida em duas áreas, cada uma com seis piquetes de aproximadamente 4125 m² cada, que foram manejados em um sistema rotacionado de 7 dias de ocupação por 35 dias de descanso.

Na Figura 2 é apresentado um croqui da área experimental onde são representadas as espécies madeireiras na linha central (M), as espécies tutoras nas linhas marginais (C) e os quatro pontos de avaliação.

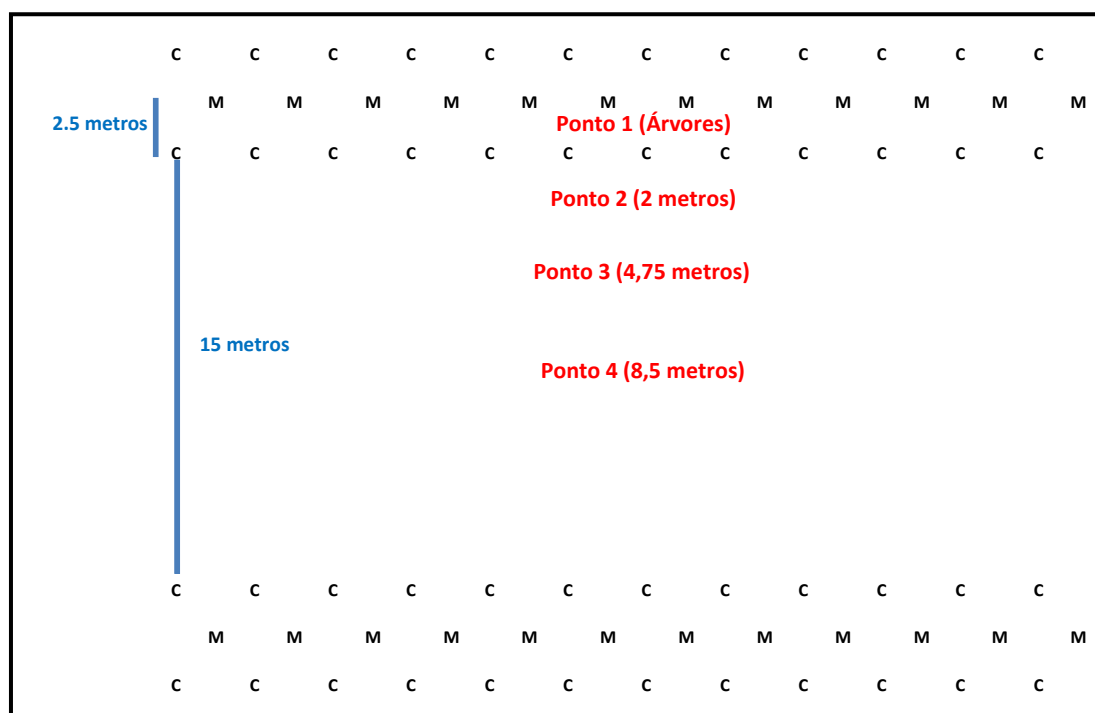


Figura 2. Representação das espécies madeireiras e tutoras no sistema silvipastoril e localização dos pontos de avaliação.

Na figura 3 são apresentadas imagens do experimento em seis momentos (janeiro de 2010, agosto de 2010, outubro de 2010, outubro de 2011, dezembro de 2011 e maio de 2012), mostrando a evolução da área experimental com o desenvolvimento das árvores.



Figura 3. Ilustrações do experimento durante a vigência do projeto.

Avaliação dos atributos químicos do solo sob a influência da arborização

Amostras compostas de solos foram coletadas com auxílio de um trado tipo sonda, nas profundidades de 0-10; 10-20; e 20 a 40 cm, no mês de outubro dos anos de 2010, 2011 e 2012, sendo encaminhadas ao laboratório da EMBRAPA Pecuária Sudeste.

A caracterização química consistiu na determinação de valores médios de: pH em água (pH H₂O), pH em cloreto de cálcio (pH CaCl₂), matéria orgânica (MO),

fósforo-resina (P resina), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), acidez potencial (H+Al), alumínio trocável (Al), capacidade de troca catiônica (CTC), soma de bases (S), saturação por bases (V) e saturação por alumínio (m), conforme metodologia da Embrapa (1997).



Figura 4. Coleta de solo para análise de atributos químicos em sistema silvipastoril.

A determinação do pH em água (pH H₂O) e pH em cloreto de cálcio (pH CaCl₂), foi realizada pelo método de potenciometria. A matéria orgânica (MO) foi quantificada por meio da oxidação da matéria orgânica via úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico. O fósforo-resina (P resina) foi determinado por formação de complexo fósforo-molibdico de cor azul obtido após redução do molibdato com ácido ascórbico e determinação por EAM. O potássio foi extraído com solução diluída em ácido clorídrico e determinado por espectrofotometria de chama. Cálcio e magnésio foram extraídos com solução KCl N e determinação complexiométrica em presença de indicadores eriochrome e murexida ou calcon. A acidez potencial foi quantificada com acetato de cálcio tamponado a pH 7,0 e determinado volumetricamente com solução de NaOH em presença de fenolftaleína como indicador. O alumínio trocável foi determinado titulando-se o NaOH em presença de fenolftaleína como indicador. A CTC do solo foi estimada pela soma dos teores de S, H⁺ e Al³⁺. A saturação por bases (valor V) em

percentual foi estimada pelo cálculo $V\% = 100 S/T$. A saturação por alumínio foi quantificada pela expressão $100 Al^{3+} / (S+Al^{3+})$.

Os dados foram submetidos à Análise de Variância e as médias, quando necessário, foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

3.2.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve diferença estatística entre as posições de coleta em relação ao renque de árvores, exceto para os seguintes atributos no ano de 2010: matéria orgânica (MO), potássio (K), magnésio (Mg), acidez potencial (H+Al), saturação por bases (V) e enxofre (S); e no ano de 2011 para saturação por alumínio (m).

Os atributos químicos no ano de 2010 (Tabela 1) demonstram maiores valores de pH na profundidade de 0-10 cm, o mesmo sendo observado para matéria orgânica, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre. Ainda nesta profundidade foram observados os maiores valores de CTC e saturação por bases (V). A observação dos maiores valores das variáveis nesta profundidade ocorre provavelmente devido à contribuição de resíduos orgânicos, promovendo a melhoria na fertilidade do solo, aumentando os teores de matéria orgânica, a capacidade de troca catiônica e a saturação por bases. Para as demais profundidades, os valores seguiram uma ordem decrescente para as mesmas características químicas citadas. São observados também nesta profundidade de 0-10 cm os menores valores de alumínio trocável e saturação por alumínio (m) (Tabela 2). Para as outras profundidades os valores seguiram uma ordem crescente. Essa diminuição nos teores de alumínio trocável e saturação por alumínio pode ser explicada pelo aumento na saturação por bases e aumento do pH. Segundo Edmeades (1982) e Hochman et al. (1992), conforme o pH do solo aumenta, o Al^{3+} sofre hidrólise deixando vagos os sítios de troca de cátions, ou ainda ocasiona a dissociação do hidrogênio aumentando assim a CTC do solo.

Tabela 1. Valores médios de pH em água (pH H₂O), pH em cloreto de cálcio (pH CaCl₂), matéria orgânica (MO), fósforo-resina (P resina), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) em três profundidades de solo de um sistema silvipastoril em São Carlos, SP, em outubro de 2010

Prof. (cm)	pH	pH	MO g dm ⁻³	P resina mg dm ⁻³	K	Ca	Mg
	H ₂ O	CaCl ₂				mmol _c dm ⁻³	
0-10	5,53 a	4,85 a	28,70 a	4,70 a	1,55 a	19,7 a	9,3 a
10-20	5,20 b	4,55 b	19,55 b	2,25 b	0,75 b	11,75 b	5,3 b
20-40	5,12 b	4,44 b	14,40 c	1,60 b	0,48 c	8,8 b	4,0 c

Médias seguidas de mesma letra na não diferem estatisticamente pelo teste Tukey 5% de probabilidade.

Tabela 2. Valores médios de acidez potencial (H+Al), alumínio trocável (Al), capacidade de troca catiônica (CTC), enxofre (S), saturação por bases (V) e saturação por alumínio (m) em três profundidades de solo de um sistema silvipastoril em São Carlos, SP, em outubro de 2010

Prof (cm)	H+Al	Al	CTC	S	V	m
	mmol _c dm ⁻³				(%)	
0-10	32,3 b	1,6 b	62,9 a	30,5 a	47,95 a	5,1 b
10-20	38,4 a	2,8 a	56,4 b	17,9 b	31,0 b	13,8 a
20-40	39,95 a	2,45 a	53,45 b	13,05 b	24,9 c	14,95 a

Médias seguidas de mesma letra na não diferem estatisticamente pelo teste Tukey 5% de probabilidade.

Em outubro de 2011 (Tabela 3), os atributos químicos mantiveram o mesmo padrão do ano anterior, com valores decrescentes com a profundidade. Em comparação com ano de 2010, estes apresentaram aumento no pH, aumento nos teores de matéria orgânica, fósforo, cálcio, enxofre e saturação por bases. Esse aumento mais uma vez pode ser explicado pela incorporação de material vegetal proveniente do sistema de pastejo. Segundo Sarmiento et al. (2008), quando a matéria orgânica do solo é mineralizada, transformando o material orgânico em substâncias orgânicas (ácidos orgânicos e húmus) e mineralizadas (nitratos, fosfatos, sulfatos, formas amoniacais, gás carbônico, água, etc.), há aumento das cargas negativas do solo e elevação do pH.

Os valores de acidez potencial (H+Al), alumínio trocável (Al) e saturação por alumínio (m) tiveram significativa redução no ano de 2011 em comparação com o ano de 2010 para a profundidade de 0-10 cm (Tabela 4). Essa redução de valores referentes à acidez e neutralização do alumínio pode ser decorrente do aumento do pH promovido pela presença de matéria orgânica. Segundo Silva & Mendonça (2007), a adição de matéria orgânica pode resultar em aumento ou redução do pH do solo, estando dependente dos processos que consomem ou liberam H⁺. Em condições de acúmulo de matéria orgânica e nos estádio final de sua mineralização, a oxidação libera elétrons, podendo ocasionar um aumento no pH (SOUSA et al. 2007).

Franchini et al. (2003) explica que o aumento do pH do solo pela utilização de extratos vegetais de espécies efetivas se dá devido a estas apresentarem maiores teores de cátions e ácidos orgânicos de baixa massa molecular na fração carbono orgânico solúvel e que estes são capazes de consumir H⁺ da solução do solo, refletindo potencial efetivo em minimizar a acidez do solo.

Tabela 3. Valores médios de pH em água (pH H₂O), pH em cloreto de cálcio (pH CaCl₂), matéria orgânica (MO), fósforo-resina (P resina), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) em três profundidades de solo de um sistema silvipastoril em São Carlos, SP, em outubro de 2011

Prof. (cm)	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	MO g dm ⁻³	P resina mg dm ⁻³	K	Ca	Mg
						mmolc dm ⁻³	
0-10	6,17 a	5,14 a	33,5 a	7,3 a	0,87 a	22,5 a	8,25 a
10-20	6,02 ab	4,96 ab	22,3 b	3,4 b	0,59 b	19,05 ab	7,0 ab
20-40	5,91 b	4,84 b	16,5 c	1,85 c	0,45 c	15,85 b	5,7 b

Médias seguidas de mesma letra na não diferem estatisticamente pelo teste Tukey 5% de probabilidade.

Tabela 4. Valores médios de acidez potencial (H+Al), alumínio trocável (Al), capacidade de troca catiônica (CTC), soma de bases (S), índice de saturação por bases (V) e saturação por alumínio (m) em três profundidades de solo de um sistema silvipastoril em São Carlos, SP, em outubro de 2011

Prof (cm)	H+Al	Al	CTC	S	V	m
	mmolc dm ⁻³				(%)	
0-10	23,95 a	0,5 b	55,7 a	31,75 a	56,2 a	1,95 b
10-20	26,5 a	1,2 a	53,25 a	26,75 ab	49,35 b	4,75 a
20-40	24,45 a	1,4 a	46,6 b	21,95 b	47,45 b	5,6 a

Médias seguidas de mesma letra na não diferem estatisticamente pelo teste Tukey 5% de probabilidade.

Em outubro de 2012 (Tabelas 5 e 6), ainda são observados valores decrescentes nas profundidades, exceto para o alumínio trocável (Al) e saturação por alumínio (m). Os maiores valores dos atributos na camada de 0-10 cm demonstram o efeito do aporte de matéria orgânica nas camadas mais superficiais do solo. Segundo Salton et al. (2005), cerca de 40 a 50% do carbono do solo pode ser armazenado até 30 cm.

Em comparação ao ano de 2011, constata-se uma diminuição nos teores de matéria orgânica, fósforo-resina, cálcio, magnésio, capacidade de troca catiônica, enxofre e saturação por bases, com aumento nos teores de potássio, acidez potencial e saturação por alumínio. A matéria orgânica apresentou diminuição para o ano de 2012, com valores semelhantes aos do ano de 2011 nas camadas de 0-10 e 10-20.

Para todas as características avaliadas, nas profundidades de 20-40 houve aumento nos teores de nutrientes comparando-se os anos de 2010 e 2012. A partir dos resultados obtidos e da comparação entre os anos de 2011 e 2012, é perceptível um ligeiro decréscimo na fertilidade do sistema silvipastoril do último ano.

Na busca por fatores que possibilitem elucidar esta questão, foram consultados dados pluviométricos para a região onde se localiza o experimento e comparada a quantidade de chuvas (mm) de cada ano. Até outubro (contando-se a partir do 12º mês anterior), o ano de 2011 obteve somatória total de 1825 mm e o ano de 2012 obteve somatória de 1495 mm, resultando em uma diferença de 330,4 mm entre os anos. O ano de 2011 obteve somatória de chuvas diferencial em relação ao ano de 2012. É possível que o aumento da quantidade de chuvas em 2011 tenha promovido

uma aceleração nos processos de decomposição da matéria orgânica, com consequente disponibilidade dos nutrientes oriundos desta ao sistema, promovendo uma melhoria geral na fertilidade na época de coleta das amostras. Isto explica o aumento nos níveis de fertilidade em 2011 seguido por um decréscimo nesses valores em 2012. Nesse contexto, Carvalho et al. (2008) explica que o aumento da superfície de contato do material vegetal com o solo na presença de umidade, favorece a ação biológica e acelera a decomposição. Segundo Machado (2001), os microrganismos do solo sintetizam e decompõem a matéria orgânica do solo e suas atividades são reguladas por propriedades químicas e físicas do solo, juntamente a outros componentes ambientais, tais como: temperatura, umidade e aeração. Ele ainda cita que a decomposição da matéria orgânica é fator primordial na condução de processos biológicos no solo e a interação com as propriedades físico-químicas, em conjunto, resultam na fertilidade.

Nota-se pequena alteração de valores dos atributos químicos ao longo dos três anos de avaliação. Comparando-se os anos de 2010 e 2012, em 2012 foram obtidos os melhores valores de: pH H₂O, P resina e K, em todas as profundidades; Ca, Mg, S, V e H+Al nas profundidades de 10-20 e 20-40, verificando assim um pequeno incremento de fertilidade no sistema ao fim dos três anos de avaliação.

Tabela 5. Valores médios de pH em água (pH H₂O), pH em cloreto de cálcio (pH CaCl₂), matéria orgânica (MO), fósforo-resina (P resina), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) em três profundidades de solo de um sistema silvipastoril em São Carlos, SP, em outubro de 2012.

Prof. (cm)	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	MO g dm ⁻³	P resina mg dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³		
					K	Ca	Mg
0-10	6,11 a	4,95 a	27,25 a	5,95 a	1,76 a	19,05 a	7,40 a
10-20	6,03 ab	4,76 b	18,40 b	3,60 b	0,94 b	14,00 b	5,75 b
20-40	5,94 b	4,72 b	12,55 c	1,65 c	0,53 c	11,50 c	4,00 c

Médias seguidas de mesma letra na não diferem estatisticamente pelo teste Tukey 5% de probabilidade.

Tabela 6. Valores médios de acidez potencial (H+Al), alumínio trocável (Al), capacidade de troca catiônica (CTC), enxofre (S), índice de saturação por bases (V) e saturação por alumínio (m) em três profundidades de solo de um sistema silvipastoril em São Carlos, SP, em outubro de 2012.

Prof (cm)	H+Al	Al	CTC	S	V	m
	mmolc dm ⁻³				(%)	
0-10	34,30 a	0,85 b	62,45 a	28,10 a	45,4 a	3,30 a
10-20	35,05 a	1,75 a	55,75 b	20,75 b	37,05 b	7,55 b
20-40	32,50 a	1,90 a	48,25 c	15,85 c	32,95 c	11,20 c

Médias seguidas de mesma letra na não diferem estatisticamente pelo teste Tukey 5% de probabilidade.

Na avaliação dos atributos químicos que exibiram significância nos tratamentos referentes às distâncias de amostragem em relação ao renque de árvores, os resultados são apresentados na tabela 7.

Os teores de matéria orgânica apresentaram melhores valores para as distâncias (posições): 0; 4,75 e 8,5 m, sem diferir estatisticamente. As médias dos teores de K e S não apresentaram diferença significativa entre as distâncias. A posição 0,0 m (na linha das árvores) apresentou menor valor para magnésio e saturação por bases (V) e maior valor de H+Al. Estes resultados demonstram a ausência do efeito das árvores no sistema, devido, principalmente, a não diferenciação significativa do conteúdo de material vegetal nas diferentes distâncias de coleta em relação às árvores.

Radomski & Ribaski (2012) estudando a fertilidade do solo em diferentes posições em relação ao renque de árvores em sistema silvipastoril, verificaram que não houve diferença na fertilidade do solo em função das distâncias avaliadas, apenas uma tendência a maiores valores de C, P, K, Ca e Mg na camada de 0-2,5 cm nos pontos mais próximos às árvores, favorecendo a capacidade de troca de cátions (valor T) e a saturação por bases (V%), em relação à área sem arborização. Segundo Tarré et al. (2001), os solos sob pastagens podem apresentar grande aporte de matéria orgânica, proporcionado pelas raízes das forrageiras, e com isso, exibir teores iguais ou superiores aos encontrados em ambiente de mata.

Tabela 7. Valores médios de matéria orgânica (MO), potássio (K), magnésio (Mg), H+Al, soma de bases (S) e saturação por bases (V) em quatro distâncias em relação ao renque de árvores (posição), em um sistema silvipastoril em São Carlos, SP, em outubro de 2010.

Posição	MO	K	Mg	H+Al	S	V
	(g dm ⁻³)	mmolc dm ⁻³				(%)
0,00 m	21,00 ab	0,79 a	5,00 b	39,53 a	16,73 a	29,33 b
2,00 m	18,86 b	0,90 a	6,93 a	34,20 b	23,06 a	37,86 a
4,75 m	21,73 a	1,06 a	6,33 ab	36,86 ab	19,46 a	34,33 ab
8,50 m	21,93 a	0,96 a	6,53 ab	36,93 ab	22,66 a	36,93 ab

Médias seguidas de mesma letra na não diferem estatisticamente pelo teste Tukey 5% de probabilidade.

Nas posições em relação ao renque de árvores, os valores de saturação por alumínio (m) foram maiores na posição 0 (na linha arbórea), sendo menores quando à amostragem foi realizada a 8,50 m em relação às árvores (Tabela 8).

Tabela 8. Valores médios de saturação por alumínio (m), em quatro distâncias em relação ao renque de árvores (posição), em um sistema silvipastoril em São Carlos, SP, em outubro de 2011.

Posição	m (%)
0,00 m	6,13 a
2,00 m	3,66 ab
4,75 m	4,46 ab
8,50 m	2,13 b

Médias seguidas de mesma letra na não diferem estatisticamente pelo teste Tukey 5% de probabilidade.

Diante dos resultados e devido a não diferenciação significativa entre os tratamentos referentes às posições de coleta em relação ao renque de árvores, os resultados indicam que a presença das árvores, para os três anos de avaliação, não exerceu efeito positivo sobre a fertilidade do solo. Logo, a presença de gramíneas na pastagem, cobrindo o solo, resultou em maior neutralização do alumínio e incremento dos valores de pH e posições mais distantes do que quando se aproxima da árvores,

região na qual não havia a presença da forrageira, em razão do sombreamento exercido por aquelas.

3.2.6. CONCLUSÕES

1. Os atributos químicos que expressam melhoria da fertilidade do solo, tais como: pH H₂O, pH CaCl₂, MO, P-resina, K, Ca, Mg, CTC, S, e V, foram sempre maiores na profundidade de 0,0 a 0,10 m e não foram beneficiados pela presença das árvores.
2. Houve incremento dos valores do primeiro para o segundo ano de avaliação e uma ligeira redução dos valores do segundo para o terceiro ano.
3. São necessárias avaliações ao longo do tempo para acompanhamento desses atributos, esperando-se que com a estabilização do sistema, se possa chegar a melhores resultados sobre a influência da arborização nos sistemas silvipastoris.

3.2.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARVALHO, A.M.; BUSTAMANTE, M.M.C.; SOUZA JUNIOR, J.G.A.; VIVALDI, L.J. Decomposição de resíduos vegetais em Latossolo sob cultivo de milho e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2831-2838, 2008.

CARVALHO, J.R.P.; SILVEIRA, P.M. & VIEIRA, S.R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p.1151-1159, 2002.

CARVALHO, R.; GOEDERT, W.J.; ARMANDO, M.S. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p.1153-1155, 2004.

CORDEIRO, F.C. Atributos edáficos em área de pastagem plantada em relevo movimentado no noroeste do Estado do Rio de Janeiro. Seropédica, (**Tese de Mestrado**). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2006. 89p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA — EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.

FRANCHINI, J.C.; HOFFMANN-CAMPO, C.B.; TORRES, E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, A. Organic composition of green manure during growth and its effect on cation mobilization in an acid Oxisol. Comm. **Soil Science and Plant Analysis**, v. 34, p. 2045-2058, 2003.

FRANKE, I.L.; FURTADO, S.C. **Sistemas silvipastoris: fundamentos e aplicabilidade**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2001. 51p. (Documentos, 74).

MACHADO, P. L. O. A. **Manejo da matéria orgânica de solos tropicais – abrangência e limitações**. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2001. 20 p. (Embrapa Solos. Documentos, 24).

NETTO, I. T. P.; KATO, E.; GOEDERT, W. J. Atributos físicos e químicos de um latossolo vermelho-amarelo sob pastagens com diferentes históricos de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol.33, n.5, p. 1441-1448, 2009.

RADOMSKI, M.I.; RIBASKI, J. **Produção de grevilea e eucalipto em sistema silvipastoril na região do Arenito Caiuá, Noroeste do Paraná**. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 34p. (Embrapa Florestas. Documentos, 231).

SALTON, J.C.; HERNANI, L.C.; FABRÍCIO, A.C. & BROCH, D.L. **Avaliação de atributos físicos e químicos do solo e rendimento de grãos na rotação lavoura-**

pastagem no sistema plantio direto. In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 14., Temuco, 1999.

SARMENTO, P.; RODRIGUES, L.R.A.; LUGÃO, S.M.B.; CRUZ, M.C.P.; CAMPOS, F.P.; FERREIRA, M.E.; OLIVEIRA, R.F. Sistema radicular do *Panicum maximum* Jacq. cv. IPR-86 Milênio adubado com nitrogênio e submetido à lotação rotacionada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, p. 27-34, 2008.

SILVA, I.R. & MENDONÇA, E.S. **Matéria orgânica do solo.** In: Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.275-374.

SOUSA, D.M.G.; MIRANDA, L.N.; OLIVEIRA, S.A. **Acidez do solo e sua correção.** In: Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 991p.

TARRÉ, R.; MACEDO, R.; CANTARUTTI, R.B.; REZENDE, C.P.; PEREIRA, J.M.; FERREIRA, E.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. The effect of the presence of a forage legume on nitrogen and carbon levels in soils under *Brachiaria* pastures in the Atlantic forest region of the South of Bahia, Brazil. **Plant Soil**, n. 234, p. 15-26, 2001.

4. CONCLUSÕES GERAIS

1. Os resultados obtidos demonstram que o componente arbóreo não apresentou significativa contribuição aos atributos do solo.
2. Os atributos físicos apresentaram melhorias nas posições mais próximas das árvores, porém, apresentaram valores altos de D_s , relação M_i/M_a e resistência mecânica do solo à penetração, não tendo, dessa forma, notável expressividade na melhoria da qualidade física do solo.
3. As árvores não apresentaram interferência na qualidade química do solo, não promovendo melhoria da fertilidade.
4. Os incrementos observados quanto à fertilidade se deveram à presença da própria gramínea e foram notados na camada de 0,0 a 0,10 m.
5. São necessárias avaliações ao longo do tempo para acompanhamento desses atributos, esperando-se que com a estabilização do sistema, seja possível se chegar a melhores resultados sobre a influência da arborização nos sistemas silvipastoris.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEL, N.; BAXTER, J.; CAMPBELL, A.; CLEUGH, H.; FARGHER, J.; LAMBECK, R.; PRINSLEY, R.; PROSSER, M.; REID, R.; REVELL, G.; SCHMIDT, C.; STIRZAKER, R.; THORBURN, P. **Design principles for farm forestry: a guide to assist farmers to decide where to place trees and farm plantations on farms**. RIRDC/LWRRRDC/FWPRDC Joint Venture Agroforestry Program, 1997.

AGUIAR, M.I. Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais. Viçosa, MG, (**Tese de Mestrado**). Universidade Federal de Viçosa, 2008. 76p.

ALMEIDA, B.G. Avaliação do impacto do manejo com irrigação em solos brunos não cálcicos do Estado de Sergipe. Recife, (**Tese de Mestrado**). Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1995. 117p.

ALTIERI, M.; NICHOLLS, C. I. **Agroecología: teoria y practica para una agricultura sustentable**. Mexico: Pnuma/Orpalc, 2000. p.250 (Série Textos Básicos para la Formación Ambiental).

ARAÚJO, M. A.; TORMENA, C. A.; INOUE, T. T.; COSTA, A. C. S. Efeitos da escarificação na qualidade física de um Latossolo Vermelho distroférico após treze anos de semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 459-504, 2004.

ARAÚJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um latossolo vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 337-345, 2004.

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

BALDOCK, J.A.; NELSON, P.N. Soil organic matter. In: SUMMER, M.E. (Ed.). **Handbook of soil science**. Georgia, USA: University of Georgia, 2000. p.25-84.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 9-26.

BENGOUGH, A.G.; CAMPBELL, D.J. & O'SULLIVAN, M.F. **Penetrometer techniques in relation to soil compaction and root growth**. In: SMITH, K.A. &

MULLINS, C.E., eds. Soil and environment analysis: Physical methods. 2.ed. New York, Marcel Decher, 2001. p.377-403.

BEUTLER, A.N.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; PEREIRA FILHO, I.A.; CRUZ, J.C. Agregação de Latossolo Vermelho distrófico típico relacionada com o manejo na região dos cerrados no Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.129-136, 2001.

BRADFORD, J.M. The penetration resistance in a soil with well-defined structural units. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, p. 601-606, 1980.

CAMPOS, B. C.; REINERT, D. J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, p.121-126, 1995.

CARTER, M.R. Soil quality for sustainable land management: Organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. **Agronomy Journal**, v. 94, p.38-47, 2002.

CARVALHO, A.M.; BUSTAMANTE, M.M.C.; SOUZA JUNIOR, J.G.A.; VIVALDI, L.J. Decomposição de resíduos vegetais em Latossolo sob cultivo de milho e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, 2008.

CARVALHO, A.M.; FAGERIA, N.K.; KINJO, T. & PEREIRA, I.P. Resposta do feijoeiro à aplicação de fósforo em solos dos Cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, p. 61-67, 1995.

CARVALHO, J.R.P.; SILVEIRA, P.M. & VIEIRA, S.R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p. 1151-1159, 2002.

CARVALHO, M. M. **Benefícios da arborização em pastagens cultivadas**. In: Leite: agronegócio e tecnologias para as Regiões Sul e Centro-Sul Fluminense. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2004. 218 p.

CARVALHO, M.M.; FREITAS, V.P.; XAVIER, D.F. Início de florescimento, produção e valor nutritivo de gramíneas forrageiras tropicais sob condições de sombreamento natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 5, p. 717-722, 2002.

CARVALHO, M.P.; TAKEDA E.Y. & FREDDI, O.S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 695-703, 2003.

CARVALHO, R.; GOEDERT, W.J.; ARMANDO, M.S. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p.1153-1155, 2004.

CARVALHO, R.; GOEDERT, W.J.; ARMANDO, M.S. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p.1153-1155, 2004.

CARVALHO, R.; GOEDERT, W.J.; ARMANDO, M.S. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p.1153-1155, 2004.

CASSOL, L.C. Relação solo-planta-animal num sistema de integração lavoura-pecuária em semeadura direta com calcário na superfície. Porto Alegre, (**Tese de Doutorado**). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003. 157p.

CORDEIRO, F.C. Atributos edáficos em área de pastagem plantada em relevo movimentado no noroeste do Estado do Rio de Janeiro. Seropédica, (**Tese de Mestrado**). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2006. 89p.

DIAS FILHO, M. B. Growth and biomass allocation of the C₄ grasses *Brachiaria brizantha* and *B. humidicola* under shade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, p. 2335-2341, 2000.

DIAS JUNIOR, M. S.; MIRANDA, E. E. V. Comportamento da curva de compactação de cinco solos da região de Lavras (MG). **Ciência e Agrotecnologia**, v.24, n.2, p.337-346, 2000.

DORAN, J. W.; ZEISS, M. R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied soil ecology*, Dublin: v 15, p. 3-11, 2000.

DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. **Defining and assessing soil quality**. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison, SSSA, 1994. p.1-20.

DORAN, J.W. & ZEISS, M.R. Soil health and sustainability: Managing the biotic component of soil quality. **Applied Soil Ecology**, v. 5, p.3-11, 2000.

DUBÉ, F.; COUTO, L.; SILVA, M.L.; LEITE, H.G.; GARCIA, R.; ARAÚJO, G.A.A. A simulation model for evaluating technical and economic aspects of an industrial eucalyptus-based agroforestry system in Minas Gerais, Brazil. **Agroforestry Systems**, v.55, p.73-80, 2002.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA — EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.

FERNANDES, F.C.S. Dinâmica do nitrogênio na cultura do milho (*Zea mays* L.) em cultivo sucessivo com aveia preta (*Avena strigosa*), sob implantação do sistema plantio direto. Piracicaba, (**Tese de Doutorado**). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2006. 197p.

FRANCHINI, J.C.; HOFFMANN-CAMPO, C.B.; TORRES, E.; MIYAZAWA, M. & PAVAN, A. Organic composition of green manure during growth and its effect on cation mobilization in an acid Oxisol. *Comm. Soil Science and Plant Analysis*, v. 34, p.2045-2058, 2003.

FRANCO, F.S. Sistemas agroflorestais: uma contribuição para a conservação dos recursos naturais na Zona da Mata de Minas Gerais. 2000. 160 f. (**Tese Doutorado**) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2000.

FRANKE, I.L.; FURTADO, S.C. **Sistemas silvipastoris: fundamentos e aplicabilidade**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2001. 51p. (Documentos, 74).

FREDDI, O.S. Avaliação do intervalo hídrico ótimo em Latossolo Vermelho cultivado com milho. Jaboticabal, (**Tese de Doutorado**). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2007. 105p.

GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 2000. 654 p.

GOEDERT, W. J.; SCHERMACK, M. J.; FREITAS, F. C. Estado de compactação do solo em áreas cultivadas no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 2, p. 223-227, 2002.

HUSSAIN, I.; OLSON, K.R.; WANDER, M.M. & KARLEN, D.L. Adaptation of soil quality indices and application to three tillage systems in southern Illinois. **Soil & Tillage Research.**, v.50, p.237-249, 1999.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA IBGE. **Indicadores de Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br> . Acesso em: 10 de fev. de 2013.

KARLEN, D.L. & STOTT, D.E. **A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality**. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BZEDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, Soil Science Society of America, 1994. p.53-72.

KARLEN, D.L.; MAUSBACH, M.J.; DORAN, J.W.; CLINE, R.G.; HARRIS, R.F. & SCHUMAN, G.E. Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). **Soil Science Society of America Journal**, v. 61, p.4-10, 1997.

LAL, R. & PIERCE, F.J. **The vanishing resource**. In: Soil management for sustainability. Ankeny, Soil Water Conservation Society, 1991. p.1-5.

LEME, T.M.S.P.; PIRES, M. de F.A.; VERNEQUE, R. da S.; ALVIM, M.J.; AROEIRA, L.J.M. Comportamento de vacas mestiças Holandês x Zebu, em pastagem de *Brachiaria decumbens* em sistema silvipastoril. **Ciência e Agrotecnologia**, v.29, p.668-675, 2005.

LIU, A.; MA, B.L. & BOMKE, A.A. Effects of cover crops on soil aggregate stability, total organic carbon, and polysaccharides. **Soil Science Society of America Journal** , v.69, p.2041-2048, 2005.

MACHADO, P. L. O. A. **Manejo da matéria orgânica de solos tropicais – abrangência e limitações**. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2001. 20 p. (Embrapa Solos. Documentos, 24).

MAIA, S. M. F.; XAVIER, F. A. S.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S.; FILHO, J. A. A. Impactos de sistemas agroflorestais e convencional sobre a Qualidade do solo no semi-árido cearense. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.30, n.5, p.837-848, 2006.

MARCOLIN, C.D. Propriedades físico-hídrico-mecânicas de solos sob plantio direto, na região de Passo Fundo-RS. 2006. 92f. Dissertação (Mestrado) _ Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2006.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, 1995. 889 p.
BAYER, C.; MIELNICZUK, J. **Dinâmica e função da matéria orgânica**. In: Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 9-26.

MARTINS, S.G.; SILVA, M.L.N.; CURI, N. & FERREIRA, M.M. Avaliação dos atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférrico sob diferentes povoamentos florestais. **Cerne**, 18:32-41, 2002.

MELLO, N.A. Efeito do sistema de manejo nos atributos do solo, movimentação de sedimentos e exportação de carbono orgânico numa microbacia rural sob cultura do fumo. Porto Alegre, (**Tese de Doutorado**). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006. 248p.

MENDONÇA, E. S.; LEITE, L. F. C.; FERREIRA NETO, P. S. Cultivo de café em sistema agroflorestal: uma opção para recuperação de solos degradados. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 375-383, mai./jun. 2001.

MENDONÇA, E. S.; LEITE, L. F. C.; FERREIRA NETO, P. S. F. Cultivo do café em sistema agroflorestal: uma opção para recuperação de solos degradados. **Revista Árvore**, v.25, n.3, p.375-383, 2001.

METZNER, A. F.; CENTURION, J. F.; MARCHIORI, J. R. M. Relação entre grau de floculação e atributo do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Botucatu: Unesp, 2003. CDROM.

MIELNICZUCK, J. **Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas**. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O (Eds.). Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Gênese, 1999. Cap.1, p.1-6.

MONTAGNINI, F. & JORDAN, C.F. **Tropical forest ecology: the basis for conservation and management**. Berlin Heidelberg, Springer-Verlag, 2005

MONTAGNINI, F.; NAIR, P.K.R. Carbon sequestration: an underexploited environmental benefit of agroforestry systems. **Agroforestry Systems**, v.61, p.281-295, 2004.

MONTOYA VILCAHUAMAN, L.J.; BAGGIO, A.J.; SOARES, A. DE O. **Guia pratico de arborização de pastagens**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 15p. (Embrapa Florestas. Documentos, 49).

MOSQUERA-LOSADA, M.R., FERNÁNDEZ-NÚÑEZ, E., RIGUEIRO-RODRÍGUEZ, A., 2006. Pasture, tree and soil evolution in silvopastoral systems of Atlantic Europe. **Forest Ecology and Management**. 135-145.

NAIR, M.G.; SAFIR, G.R.; SIQUEIRA, J.O. Isolation and identification of vesicular-arbuscular mycorrhiza stimulatory compounds from clover (*Trifolium repens*) roots. **Applied and Environmental Microbiology**, v.57, p.434-439, 1991.

NETTO, I. T. P.; KATO, E.; GOEDERT, W. J. Atributos físicos e químicos de um latossolo vermelho-amarelo sob pastagens com diferentes históricos de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol.33, n.5, p. 1441-1448, 2009.

NETTO, I. T. P.; KATO, E.; GOEDERT, W. J. Atributos físicos e químicos de um latossolo vermelho-amarelo sob pastagens com diferentes históricos de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol.33, n.5, p. 1441-1448, 2009.

NICODEMO, M.L.F. **Sistemas silvipastoris: árvores e pastagens, uma combinação possível.** In: ZOOTEC – PRODUÇÃO ANIMAL E RESPONSABILIDADE, 2005. Campo Grande. **Anais...** Campo Grande, 2005. 1 CD-ROM.

OLIVEIRA NETO, S.N.; VALE, A.B.; NACIF, A.P.; VILAR, M.B.; ASSIS, J.B. **Sistema agrossilvipastoril: integração lavoura, pecuária e floresta.** Viçosa, MG: Sociedade de Investigações Florestais, 2010. 189p.

OLIVEIRA, J.B. **Solos do Estado de São Paulo: descrição das classes registradas no mapa pedológico.** Boletim científico nº 45, Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, 1999.

OLIVEIRA, M. E.; LEITE, L. L.; CASTRO, L. H. R. **Influência de árvores de baru (*Dipteryx alata*) e pequi (*Caryocar brasiliense*) no solo sob pastagem de braquiária.** In: International symposium soil functioning under pastures in intertropical areas, 2000, Brasília. Proceedings... Brasília: Embrapa Cerrados/IRD, 2000. CD-ROM.

OLIVEIRA, V.A., (Coord.) **Manual técnico de pedologia.** 2. ed. Rio de Janeiro, IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 2005. 300p. (Manuais técnicos em Geociências, n.4).

ORAN, J. W.; SARRANTONIO, M.; LIEBIG, M. A. Soil health and sustainability. **Advances in Agronomy**, Newark. v. 56, p. 30-31, 1996.

OSTERROHT, M. VON. O que é uma adubação verde: Princípios e ações. **Agroecologia Hoje**, v.14, p.9-11,2002.

PASSOS, R. R.; RUIZ, H. A.; CANTARUTTI, R. B.; MENDONÇA, E. S. Carbono orgânico e nitrogênio em agregados de um Latossolo Vermelho Distrófico sob duas coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1109-1118, 2007.

PEZZONI, T; VITORINO, T. A. C; DANIEL, O; LEMPP, B. Influência de *Pterodon emarginatus* Vogel sobre atributos físicos e químicos do solo e valor nutritivo de *Brachiaria decumbens* Stapf em sistema silvipastoril. Lavras: **Cerne**, v. 18, n. 2, p. 293-301, 2012.

PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; VIEIRA, A.R.R.; CARAMORI, P.H.; BAGGIO, A.J. A

radiação solar em pastagem arborizada com renques de *Grevillea robusta* A. Cunn. **Revista Brasileira Agrossilvicultura**, Viçosa, v. 1, n. 2, p. 187-193, jul./dez. 2006.

RADOMSKI, M.I.; RIBASKI, J. **Produção de grevilea e eucalipto em sistema silvipastoril na região do Arenito Caiuá, Noroeste do Paraná**. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 34p. (Embrapa Florestas. Documentos, 231).

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. **Manejo, qualidade do solo e sustentabilidade: condições físicas do solo agrícola**. CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29, 2003, Ribeirão Preto. Palestras. Ribeirão Preto: SBCS, 2003 (CD-ROM).

REICHERT, J.M. et al. Índices de estabilidade de agregados e suas relações com características e parâmetros do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.17, p.283-290, 1993.

REICHERT, J.M.; NORTON, L.D. Aggregate stability and rain - impacted sheet erosion of air dried and prewetted clayed surface soils under intense rain. **Soil Science**, v.158, p.159-169, 1994.

RIBASKI, S.A.G.; HOEFLICH, V.A. & RIBASKI, J. Sistemas silvipastoris com apoio ao desenvolvimento rural para a Região Sudoeste do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Florestal Brasileira**, 60:27-37, 2009.

SÁ, M.A.C; LIMA, J.M.; SILVA, M.L.N.; DIAS JR., M.S. Comparação de métodos para o estudo da estabilidade de agregados em solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.1.825-1.834, 2000.

SALTON, J.C.; HERNANI, L.C.; FABRÍCIO, A.C. & BROCH, D.L. **Avaliação de atributos físicos e químicos do solo e rendimento de grãos na rotação lavoura-pastagem no sistema plantio direto**. In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 14., Temuco, 1999. Suelo – Ambiente – Vida: resúmenes. Temuco, Universidad de La Frontera, 1999. CD ROM.

SANTOS, D.R. dos. **Dinâmica do fósforo em sistemas de manejo de solos. (Tese de Doutorado)**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2000. 210p.

SARMENTO, P.; RODRIGUES, L.R.A.; LUGÃO, S.M.B.; CRUZ, M.C.P.; CAMPOS, F.P.; FERREIRA, M.E. & OLIVEIRA, R.F. Sistema radicular do *Panicum maximum* Jacq. cv. IPR-86 Milênio adubado com nitrogênio e submetido à lotação rotacionada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 37:27-34, 2008.

SILVA, A.J.N.; CABEDA, M.S.V. & LIMA, J.F.W.F. Efeito de sistemas de uso e manejo nas propriedades físico-hídricas de um Argissolo Amarelo de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29:833-842, 2005.

SILVA, A.P.; INHOFF, S. & CORSI, M. Evaluations soil compaction in an irrigated short-duration grazing system. **Soil & Tillage Research**, 70:83-90, 2003.

SILVA, F.C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, Embrapa Solos, Embrapa Informática Agropecuária, Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370p.

SILVA, F.C. Manual **de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, Embrapa Solos, Embrapa Informática Agropecuária, Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370p.

SILVA, I.F.; MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 313-319, 1997.

SILVA, I.F.; MIELNICZUK, J. Sistemas de cultivo e características do solo afetando a estabilidade de agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, n.2, p.311-317, abr./jun. 1998.

SILVA, I.R. & MENDONÇA, E.S. **Matéria orgânica do solo**. In: Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.275-374.

SILVA, V.R.; REINERT, D.J. & REICHERT, J.M. Susceptibilidade à compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro e de um Podzólico Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24:239-249, 2000.

SILVA, V.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. & SOARES, J.M. Fatores controladores da compressibilidade de um Argissolo Vermelho Amarelo distrófico arênico e de um Latossolo Vermelho distrófico típico. I - Estado inicial de compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26:1-8, 2002.

SMYTH, A.J. & DUMANSKI, J. A framework for evaluating sustainable land management. **Can. J. Soil Sci.**, 75:401-406, 1995.

SOUSA, D.M.G.; MIRANDA, L.N. & OLIVEIRA, S.A. **Acidez do solo e sua correção**. In: Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 991p.

STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V.L. Penetrômetro de impacto IAA/Planalsucar-STOLF (Recomendações para seu uso). **STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.3, p.18-23, 1983.

TARRÉ, R.; MACEDO, R.; CANTARUTTI, R.B.; REZENDE, C.P.; PEREIRA, J.M.; FERREIRA, E.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S. & BODDEY, R.M. The effect of the presence of a forage legume on nitrogen and carbon levels in soils under *Brachiaria* pastures in the Atlantic forest region of the South of Bahia, Brazil. **Plant Soil**, 234:15-26, 2001.

TORMENA, C.A.; ROLOFF, G. & SÁ, J.C.M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciado por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 22:301-309, 1998

UNITED STATE DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Guidelines for soil quality assessment in conservation planning**. NRCS/Soil Quality Institute. 2001.

VALE, L. S.; COSTA, J. V. T.; LIMA, R. L. S.; SILVA, M. I. L.; SEVERINO, L. S.; BELTRÃO, N. E. M.; CARDOSO, G. D. **Crescimento da mamoneira em solo compactado**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 1., 2004, Campina Grande. Anais... Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. CD-ROM.

VEIGA, J.B.; TOURRAND, J.F. **Pastagens cultivadas na Amazônia Brasileira: situação atual e perspectivas.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2001. 36 p. (Documentos, 83).

VEIGA, J.B.; TOURRAND, J.F. Potencial e adoção de sistemas silvipastoris na Amazônia Oriental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 4., 2002, Ilhéus. *Anais...* Ilhéus, 2002. CD-ROM.

WANG, X. & GONG, Z. Assessment and analysis of soil quality changes after eleven years of reclamation in subtropical China. **Geoderma**, 81:339-355, 1998.

YOUNG, I.M.; MULLINS, C.E.; COSTIGAN, P.A.; BENGOUGH, A.G. Hardsetting and structural regeneration in two unstable British sandy loams and their influence on crop growth. **Soil & Tillage Research**, v.19, p.383-394, 1991.