GUILHERME MUSSE MOREIRA

# QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA, PECUÁRIA E FLORESTA EM SINOP - MT

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2014

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T
M835q
2014

Moreira, Guilherme Musse, 1988-
Qualidade do solo em sistemas de integração lavoura, pecuária e floresta em Sinop, MT / Guilherme Musse Moreira. – Viçosa, MG, 2014.
95f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Raphael Bragança Alves Fernandes.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Solos - Manejo. 2. Física do solo. 3. Fertilidade do solo. 4. Agrossilvipastoril. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamentos de solos. Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas. II. Título.

CDD 22. ed. 631.4

GUILHERME MUSSE MOREIRA

**QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA, PECUÁRIA E FLORESTA EM SINOP - MT**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Aprovada: 24 de fevereiro de 2014.

| | |
|---|---|
| _____ | _____ |
| Silvio Nolasco de Oliveira Neto | Edson Marcio Mattiello |

_____
Genelício Crusoé Rocha
(Coorientador)

_____
Raphael Bragança Alves Fernandes
(Orientador)

Aos meus amados pais, Joaquim e Marisa,
irmãos, Davi e Jader, e madrinha Marilda,
pela educação, apoio, caráter, alegrias,
exemplos de trabalho e vida e por sempre
acreditarem em mim.

A minha namorada Camila, pelo amor
incondicional, companheirismo e amizade,
em todos os momentos.

Dedico.

**AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela vida, coragem, força e determinação para conquistar meus sonhos. A todos meus familiares, por serem minha base de caráter e me proporcionarem maravilhosos momentos de felicidade. A Universidade Federal de Viçosa, na qual tenho orgulho de ter estudado, pelos recursos, beleza do campus, amigos que encontrei. Ao Departamento de Solos pela infraestrutura, auxílio financeiro, suporte técnico e científico, em todas as etapas do trabalho. Ao meu Orientador Raphael Bragança Alves Fernandes, pela amizade, paciência, disponibilidade, motivação, competência em todos os momentos em que precisei, sempre disposto e interessado em contribuir para meu desenvolvimento científico e profissional. Às minhas ex-orientadoras Tatiana Pires Barrella e Waldênia de Melo Moura pela amizade, inspiração e por terem me dado suporte e oportunidade para crescer profissionalmente. Aos professores, pela valiosa contribuição em meu conhecimento, atenção e disponibilidade em todas as vezes que os procurei para sanar dúvidas, em especial os professores Julio César Lima Neves e Leonardus Verguz, pelo auxílio estatístico e conselhos profissionais. Aos meus amigos Délcio Mendes, Felipe Coutinho, Robson Gonçalves e Wiliene Miranda, por fazerem parte da minha vida, me proporcionando amáveis lembranças, por todo companheirismo, valiosos conselhos e exemplos de vida. Aos meus amigos Gustavo Barbosa, Douglas Monteiro, Bianca Souza e Paula Oliveira também pela amizade e companheirismo, principalmente nas horas de estudo e por terem me proporcionado inúmeros momentos de alegria. Ao amigo Gerônimo Sauer, pela ajuda nas coletas de campo e, principalmente, pela amizade e acolhimento quando estive longe de casa. A Embrapa e CNPQ, pelo projeto e experimento de campo, a Capes pela concessão da bolsa de estudos, e aos meus coorientadores Ciro Magalhães e Genelílcio Rocha, pela ajuda na condução dos trabalhos. Aos funcionários do laboratório de física do solo, Cláudio e Luiz Fernando, por todo apoio técnico prestado e a todos que de alguma forma contribuíram para esta conquista.

**Muito Obrigado!**

*“O único lugar aonde sucesso vem antes do trabalho é no dicionário.”*

*Albert Einsten.*

**RESUMO**

MOREIRA, Guilherme Musse, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2014. **Qualidade do solo em sistemas de integração lavoura, pecuária e floresta em Sinop - MT.** Orientador: Raphael Bragança Alves Fernandes. Coorientadores: Ciro Augusto de Souza Magalhães e Genelício Crusoé Rocha.

Os sistemas de integração lavoura, pecuária e floresta (ILPF), ou sistemas agrossilvipastoris, têm sido largamente estudados, difundidos e utilizados no Brasil como uma nova proposta de uso do solo na agricultura brasileira. Estes sistemas apresentam como vantagens a melhoria no aproveitamento do solo, maior produção e rentabilidade por área, maior diversidade de componentes, melhor aproveitamento de nutrientes entre outras. Neste sentido, o estudo do componente solo dentro destes sistemas é de grande relevância para o sucesso desta atividade. O objetivo deste trabalho foi avaliar as características químicas e físicas de solo num sistema de integração lavoura, pecuária e floresta e em outras propostas de uso do solo, assim como realizar uma análise detalhada do componente arbóreo dentro do sistema ILPF e propor um método de amostragem de solo específico para este sistema. O trabalho foi realizado em um sistema de integração lavoura, pecuária e floresta e em outras propostas de uso e manejo do solo com cultivos solteiros implantados na área experimental da Embrapa Agrossilvipastoril, localizada no município de Sinop, norte do estado de Mato Grosso numa região de Cerradão. Os tratamentos consistiram de cinco sistemas de uso do solo: floresta plantada, sistema de integração lavoura, pecuária, floresta, pastagem dispostos em blocos casualizados e mata nativa como testemunha. Os atributos físicos de solo foram avaliados em duas camadas, 0-10 e 10-20 cm de profundidade, os atributos químicos foram avaliados em quatro camadas 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm de profundidade. Foi realizada uma amostragem detalhada do sistema ILPF da qual foram coletadas amostras de solo em diferentes posições em relação ao renque de eucalipto, 0, 3, 6, 10 e 15 metros de um lado e de outro do renque sendo que cada distância foi definida como tratamento independente para avaliação das características químicas de solo nas quatro supracitadas. Com um ano de implantação não houve variação nos atributos físicos relacionados a granulometria e pouca variação nos relacionados a estrutura com efeito sobre a

qualidade do solo mais marcante no tratamento lavoura. A resistência do solo à penetração foi o fator que se mostrou mais preocupante no tocante ao manejo da qualidade do solo nos sistemas avaliados. O solo nos sistemas floresta plantada e ILPF apresentaram qualidade mais próxima da mata na camada mais superficial. Na avaliação dos atributos químicos, as variações os nos sistemas de cultivo refletiram as adubações. A lavoura e a integração apresentaram os maiores teores de P e K. Não houve grande variabilidade nos teores Ca e Mg entre os sistemas cultivado. A mata apresentou os piores valores do ponto de vista da fertilidade do solo entre todos os sistemas com exceção da matéria orgânica e capacidade de troca catiônica. Houve redução dos teores de nutrientes e estoque de carbono orgânico em profundidade. Os estoques de carbono foram superiores na mata em todas as camadas avaliadas. Na análise do sistema ILPF foi possível observar que não houve influência diferenciada do renque de eucalipto sobre os teores de nutrientes na face sul e norte, contudo, quando se avaliou apenas as posições do lado norte o K foi maior próximo do renque nas camadas superiores e o Al e m teve o mesmo comportamento nas camadas inferiores.

**ABSTRACT**

MOREIRA, Guilherme Musse, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February 2014. **Soil quality in crop-livestock-forest integration systems in Sinop, MT.** Advisor: Raphael Bragança Alves Fernandes. Co-advisors: Ciro Augusto de Souza Magalhães and Genelício Crusoé Rocha.

Integrated crop-livestock-forestry systems (ILPF) have been widely studied, disseminated and used in Brazil as a new proposal for land use in Brazilian agriculture. These systems have the advantages of improve land use, increase production and profitability per area, provide greater diversity of components, and provide better utilization of nutrients. In this context, the soil component within these systems is crucial for the success of this activity. The objectives of this study were to evaluate the soil chemical and physical characteristics under integrated crop-livestock-forest systems in comparison with other land use systems, as well to promote a detailed analysis of the tree component within the ILPF system and propose a soil sampling method specific for this system. The study was carried out in an integrated crop-livestock-forestry system and other land use and management systems with single crops in the experimental area of Embrapa Agrosilvopastoril, located in the municipality of Sinop, Northern Mato Grosso state, Brazil. The treatments evaluated were five land use systems: planted forest, crop-livestock-forestry integration, crop, pasture, and native forest as a control in a randomized block design. The physical soil properties were evaluated in two layers, 0-10 and 10-20 cm depth, and the chemical attributes were evaluated in four layers 0-5 , 5-10 , 10-20 and 20-30 cm depth. In the ILPF system, soil samples were collected at different positions relative to the row of Eucalyptus, 0, 3 , 6, 10 and 15 meters in the both sides of the row, with each distance being considered as an independent treatment. One year after the establishment of the experiment, no variation was found in the physical attributes related to particle size and little variation in those related to structure with effect on soil quality, which was most notable in the crop treatment. The soil resistance to penetration was the most worrying factor regarding to soil quality management in the evaluated systems. The soil in the planted forest and ILPF treatments showed quality nearest to native forest in the most superficial layer. The assessment of chemical attributes showed that the

variations in the cropping systems reflected the fertilizations. The treatments crop and ILPF presented the highest levels of P and K. There was great variability in the Ca and Mg contents among the systems. The native forest showed the worst soil fertility among all systems, except for organic matter and cation exchange capacity. There was reduction in the contents of nutrients and organic carbon stock in depth. Carbon stocks were higher in the native forest in all layers evaluated. The analysis of the ILFP system showed that there was no influence of the eucalyptus row on the nutrient contents in the south and the north faces. However, when assessing only the positions of the north face, the K content was higher near the row in the upper layers and the Al and m index had the same behavior in the lower layers.

**SUMÁRIO**

**Introdução geral**.....1

**Revisão bibliográfica**.....3

Qualidade do solo.....3

Sistemas de integração uma abordagem geral.....4

Qualidade física do solo em sistemas de integração.....6

Qualidade química do solo em sistemas de integração.....8

Bibliografia.....9

**Capitulo 1 – Qualidade física do solo em sistemas de integração lavoura, pecuária e floresta e outras propostas de manejo do solo**.....14

Resumo.....15

Introdução.....16

Material e Métodos.....16

Resultados e discussão.....23

Análise inicial dos dados.....23

Densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade.....23

Curva de retenção de água no solo e índice S.....27

Curva de distribuição de poros no solo.....32

Intervalo hídrico ótimo.....35

Conclusões.....39

Bibliografia.....39

**Capítulo 2 – Sistema de integração lavoura, pecuária e floresta e outras propostas de manejo do solo na Amazônia: avaliação da qualidade química do solo**.....45

Resumo.....46

Introdução.....47

Material e métodos.....48

Resultados e discussão.....51

Teores de nutrientes no solo.....51

Estoque de carbono no solo.....56

Conclusões.....58

Bibliografia.....58

**Capítulo 3 – Influência do componente arbóreo sobre os atributos químicos do solo em sistemas de integração lavoura, pecuária e floresta**.....62

Resumo.....63

Introdução.....64

Material e Métodos.....65

Resultados e discussão.....68

Comparação norte x sul (médias de todas as distâncias).....68

Comparação entre as mesmas distâncias em faces diferentes .....71

Comparação entre distâncias .....75

Conclusões.....80

Bibliografia.....81

**Conclusão geral**.....84

## INTRODUÇÃO GERAL

O atual cenário mundial de demanda crescente por alimentos, fibras e energia, aliado a processos de degradação do solo e à alta incidência de pragas e doenças nas monoculturas tem exigido dos produtores e pesquisadores mudanças nos sistemas de produção, buscando alternativas para uma produção mais embasada na sustentabilidade, de forma a tornar os sistemas produtivos ambientalmente mais adequados, socialmente justos e economicamente viáveis.

Nos últimos anos, novas propostas de sistemas de manejo agrícola têm surgido e ganhado força no Brasil, dentre elas destacam-se os sistemas de integração que surgiram no Brasil na década de 1980 e, desde então vêm sendo avaliados e aperfeiçoados. Ultimamente uma proposta de sistema mais diversificada tem-se destacado: o sistema de integração lavoura, pecuária e floresta (ILPF). Nessa proposta insere-se o componente arbóreo, ao qual tem sido atribuído varias funções, como sombreamento, quebra-vento, produção de madeira, fixação de nitrogênio (no caso de leguminosas), reciclagem de nutrientes, proteção do solo, recarga de aquíferos, aumento da biodiversidade, dentre outras. Na proposta da ILPF, o uso do componente arbóreo é conduzido de forma a não comprometer o desenvolvimento das demais atividades, além de proporcionar uma fonte de madeira, recurso essencial em uma propriedade agrícola. Pela presença do componente arbóreo, a ILPF é considerada um sistema agroflorestal ou agrossilvipastoril, pois é composta pelos componentes lavoura, pecuária e floresta.

Os modelos de sistemas ILPF são variados, mas sempre considerando cultivos consorciados, sejam no espaço ou no tempo. Vários desenhos e espécies podem ser empregados, de forma a atender as condições de manejo de cada propriedade, como o uso e trânsito de máquinas, situação de clima e de mercado, disponibilidade de mão de obra, requerimento de matérias primas. Assim uma vantagem dos sistemas ILPF é a possibilidade de serem adotados por pequenos, médios e grandes produtores.

Dentre as vantagens deste sistema podemos citar o aumento na atividade biológica, melhoria na estruturação do solo, reciclagem de nutrientes mais eficiente, quebra de ciclos de pragas e doenças, oferta de forragem durante o

período seco e aumento na eficiência de uso dos recursos (água, nutrientes, terra, luz). Esta última característica também pode ser considerada uma vantagem do ponto de vista ambiental, juntamente com a redução na necessidade de aplicação de agrotóxicos.

Especificamente quanto ao recurso natural solo, sua qualidade nestes sistemas tende a melhorar, tanto no aspecto físico quanto químico, além do biológico, em função dos variados componentes presentes na integração. A presença de diferentes tipos de sistemas radiculares, incluindo de espécies forrageiras e arbóreas, ambos reconhecidamente mais vigorosos, influencia positivamente o processo de agregação do solo e interfere em outras características físicas. Como resultado, pesquisas tem indicado potencial para a melhoria nos processos de infiltração, condução e armazenamento de água que posteriormente proporcionam aumentos na produtividade.

No aspecto químico, as diferentes exigências nutricionais das culturas, a exploração de diferentes profundidades do solo e a deposição das fezes dos animais propiciam melhoria no aproveitamento e maior ciclagem de nutrientes. O sistema radicular das espécies arbóreas explora nutrientes em camadas mais profundas do solo, disponibilizando-os às plantas de ciclo anual. Outra vantagem é o aproveitamento dos restos da cultura anterior, sejam como fonte de nutrientes ou mesmo na cobertura e proteção do solo.

Neste contexto, estudos com sistemas ILPF são importantes, não somente por serem um sistema inovador onde efeitos da integração devem ser mensurados, mas também e, no caso específico da região selecionada para o estudo, por conciliar demandas que buscam sistemas mais sustentáveis que harmonizem a produção de alimentos com a preservação ambiental.

Diante do exposto, o objetivo geral deste trabalho é avaliar a qualidade do solo em resposta à implantação de sistemas de integração lavoura, pecuária, floresta (ILPF) na região de Sinop, MT. Como objetivos específicos, tem-se: a) avaliar a qualidade física do solo em áreas de implantação de sistemas ILPF; b) avaliar a qualidade química do solo em áreas de implantação de sistemas ILPF e c) avaliar a influência do componente arbóreo dentro de um sistema ILPF.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### Qualidade de solo

Atualmente, o termo qualidade do solo tem sido um assunto muito abordado dentro da ciência do solo. É um tema muito amplo que envolve características físicas, químicas, biológicas, culturais, sociais, dentre outras, desse importante recurso natural. Arshad & Martin (2002) definem qualidade de solo como "a aptidão de um tipo específico de solo, para funcionar dentro de sua capacidade e dentro dos limites dos ecossistemas naturais ou administrados, para sustentar produtividade vegetal e animal, mantendo ou melhorando a qualidade da água e do ar, além de dar suporte à saúde humana e habitação".

O estabelecimento da qualidade do solo se dá pela avaliação de algumas de suas propriedades que são tomadas como indicadores (Doran & Parkin, 1994). Um bom indicador deve responder de forma sensível ao manejo, correlacionar-se com as funções desempenhadas pelo solo, ser compreensível e útil para o agricultor e, preferentemente, de fácil e barata mensuração (Doran & Zeiss, 2000).

A definição de quais indicadores devem ser utilizados nem sempre é tarefa fácil, uma vez que cada ambiente responde de forma diferenciada ao manejo e, além disso, é difícil estabelecer um valor de referência para cada atributo, pois dependo de uso do solo estes valores podem variar (Arshad & Martin, 2002). Recentemente alguns trabalhos têm utilizado a análise multivariada como ferramenta na avaliação da qualidade do solo. Esse tipo de análise permite estabelecer quais indicadores explicam melhor as variações dentro do sistema, além de reuni-los em grupos com similaridade (Baretta et al., 2006; Carneiro et al., 2009). Esse procedimento de análise tem a vantagem de identificar qual variável explica melhor as alterações nos sistemas, tomando como base apenas o conjunto de dados disponível, sendo que os atributos mais importantes recebem maior pontuação em relação aos menos importantes.

Os atributos químicos, físicos e biológicos do solo, normalmente, são os mais utilizados na avaliação da qualidade, uma vez que estas características atendem às premissas de um bom indicador e comandam a maioria dos processos ligados à boa

produtividade e sustentabilidade do sistema (Carvalho et al., 2004; Silva et al., 2005; Costa et al., 2006; Araújo et al., 2007; Andrade et al., 2012).

**Sistemas de integração: uma abordagem geral**

Nos últimos 50 anos, a população brasileira passou de 71 para 190 milhões de habitantes, com a população urbana crescendo de 45,1 % para 84,4 %, e rural caindo de 54,9 % para 15,6 % (IBGE, 2010), disto constata-se que grande parte da população, antes produtora de alimentos, passa a ser unicamente consumidora e demandadora de produtos agrícolas. Com este novo cenário, a agricultura é colocada frente a duas opções: aumento da produção de alimentos com expansão de fronteiras agrícolas ou intensificação do uso da terra com incrementos de produtividade. A primeira situação foi muita utilizada e difundida no Brasil durante décadas, inclusive por incentivo do governo federal, contudo, gerou grande degradação dos biomas brasileiros, provocando uma grande pressão social atual para a preservação dessas áreas (Romano, 2010). Diante disto, e considerando a estimativa de crescimento populacional nas próximas décadas de forma a alcançar 218 milhões de habitantes em 2060 (IBGE, 2013), a agricultura brasileira tem sido cobrada para investir na segunda opção, na qual os sistemas de integração têm ganhado grande destaque como uma alternativa de reutilização de áreas já degradadas, além de incrementos na produção, na produtividade e conservação do sistema como um todo.

O modelo de agricultura tradicional tem provocado diminuição na produtividade por diversos motivos, sendo os principais os processos erosivos do solo, alteração da estrutura e perda da fertilidade do solo, além da excessiva presença de pragas e doenças em função do monocultivo. No caso das áreas de pastagens, que já são normalmente áreas marginais à agricultura, o manejo inadequado com lotação excessiva e não rotacionada, e a acidez e a baixa fertilidade natural do solo, associadas à pouca reposição de nutrientes, são considerados os principais fatores que têm inviabilizado essa atividade (Macedo, 2009). Frente a este quadro, sistemas que minimizem o revolvimento do solo e busquem recuperar e, ou, manter sua fertilidade têm sido avaliados como alternativa, dentre os quais têm ganhado destaque o sistema de plantio direto

(SPD) e, mais recentemente, os sistemas de integração lavoura-pecuária (ILPs) e integração lavoura, pecuária e floresta (ILPFs), também denominados agrossilvipastoris.

Sistemas ILPs e ILPFs sugiram no Brasil a partir do final da década de 1980 e, desde então, vêm sendo aperfeiçoados. Tais propostas de manejo da terra consistem da implantação, i) em uma mesma área de cultivo que integre variados sistemas de produção de grãos, fibras, leite, carne, agroenergia, dentre outros, em manejo consorciado, onde há dois ou mais cultivos ao mesmo tempo; ii) sequencial, onde um ou mais cultivos dão lugar a outro(s), após um período; ou ainda iii) rotaciodado, onde um cultivo é empregado na entressafra de outro (Oliveira Neto & Paiva, 2010; Romano, 2010). O manejo pode ainda apresentar as três características ao mesmo tempo. Os sistemas ILPFs podem ser considerados uma "evolução" dos sistemas ILPs, por conter um componente arbóreo e possibilitar integrar na mesma área atividades agrícolas, pecuárias e florestais (Balbino et al., 2011).

Atualmente, os sistemas ILPFs têm recebido especial atenção por parte de pesquisadores, por proporcionar maior estabilidade e sustentabilidade na produção agrícola em relação aos atuais sistemas produtivos (Souza et al., 2008). Esses sistemas apresentam diversas vantagens tais como: utilização da área de cultivo durante o ano todo, aumento da biodiversidade, redução da pressão ao desmatamento, estabilidade do agricultor em relação às mudanças de mercado em função da diversificação da renda (Fontaneli et al., 2000), recuperação da capacidade produtiva do solo, maior infiltração de água, ciclagem de nutrientes (Romano, 2010), melhoria nas características químicas, físicas e biológicas do solo, (Balbinot Junior et al., 2009; Souza et al., 2010a; Souza et al., 2010b; Balbino et al., 2011) maior conforto animal, fornecimento de madeira à propriedade (Macedo, 2009), redução no uso de agrotóxicos, maior geração de renda por área (Balbinot Junior et al., 2009), contribuição no sequestro de carbono e mitigação de emissão de gases de efeito estufa (Pulrolnik et al., 2010).

Vilela et al. (2011) destacam três modalidades de integração utilizadas no Cerrado brasileiro: 1) fazendas de pecuária, em que culturas de grãos (arroz, soja, milho e sorgo) são introduzidas em áreas de pastagens para recuperar a

produtividade dos pastos; 2) fazendas especializadas em lavouras de grãos, que utilizam gramíneas forrageiras para melhorar a cobertura de solo em sistema plantio direto, e, na entressafra, para uso da forragem na alimentação de bovinos ("safrinha de boi"); e 3) fazendas que, sistematicamente, adotam a rotação de pasto e lavoura para intensificar o uso da terra e se beneficiar do sinergismo entre as duas atividades.

No manejo de sistemas ILP e ILPFs, o componente solo – que sustenta a base da produção – é frequentemente o mais alterado e, desta forma, pode fornecer informações precisas sobre a sustentabilidade do sistema via avaliação de suas características químicas, físicas e biológicas (Souza et al., 2008). Para a avaliação da qualidade e sustentabilidade vinculada ao solo, características químicas, como teor de nutrientes, acidez, saturação por bases, saturação por alumínio, teor de micronutrientes, matéria orgânica, características físicas, como densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade, condutividade hidráulica, argila dispersa em água, curva de retenção de água e intervalo hídrico ótimo, bem como atributos biológicos e de estoques e estabilização de C devem ser avaliados. Tais variáveis podem indicar o potencial dos sistemas ILPFs em manter e melhorar a qualidade do solo, refletindo a adequabilidade dos esforços e manejos adotados.

**Qualidade física do solo em sistemas de integração**

Os sistemas de integração podem contribuir com a melhoria da qualidade física do solo. Souza et al. (2010a) verificaram que sistemas ILP em plantio direto promoveram maior agregação do solo em comparação coma uma área sem pastejo, principalmente, nos cinco primeiros centímetros avaliados. Macedo (2009) observou aumento da estabilidade de agregados e da taxa de infiltração de água, bem como a diminuição da densidade e compactação do solo em sistemas ILP. Schiavo e Colodro (2012) avaliaram alguns atributos físicos de solo, dentre eles a resistência à penetração (RP) em áreas de pastagem, Cerrado, e integração lavoura pecuária e observaram que o manejo integrado diminuiu os valores de RP em relação às áreas de pastagem. Carvalho et al. (2004) observaram maior densidade do solo e menor porosidade total numa área cultivada com sistema em plantio

convencional em relação ao solo de uma área sobre sistema agroflorestal. Moreira et al. (2012) constataram que, após oito anos, o pisoteio animal em um sistema de integração lavoura pecuária não alterou a porosidade de aeração e a permeabilidade do solo ao ar em relação à área sem pastejo. Bono et al. (2012) ao avaliarem solo sob sistema ILP e monocultivo de lavoura e pastagem, constataram que o manejo integrado apresentou velocidade de infiltração básica e infiltração acumulada de água no solo mais próximos dos observados na mata nativa. Silva et al. (2011) avaliaram lavoura, pastagem, sistema ILP e mata nativa e constataram que entre os sistemas produtivos, a melhor estrutura do solo foi verificada no sistema ILP, nas camadas de 0–0,1 e 0,1–0,2 m.

Por outro lado, alguns trabalhos têm demonstrado que a adoção de sistemas de integração nem sempre proporciona melhorias na qualidade física do solo. Alguns autores inclusive têm verificado que os sistemas de integração alteram negativamente algumas propriedades físicas do solo, entretanto, sem ultrapassar níveis considerados limitantes a boa qualidade física (Marchão et al., 2007; Spera et al., 2009; Spera et al., 2010a; Spera et al., 2010b). Outros autores têm observado que o manejo com pastagem contínua causa menos impactos nos atributos físicos de solo do que o manejo sob sistemas de integração (Spera et al., 2009; Santos et al., 2011; Bono et al., 2013).

Um dos mais importantes atributos físicos é o intervalo hídrico ótimo que recentemente tem sido considerado como um indicador da qualidade estrutural do solo para o crescimento das raízes. Essa variável integra, em um único parâmetro, três fatores importantes associados ao desenvolvimento das plantas: aeração, umidade e resistência mecânica do solo (Leão et al., 2006). Entretanto, ainda são poucos os trabalhos que avaliam este atributo em sistemas de integração, e os já desenvolvidos têm demonstrado redução do IHO em solos sob manejo integrado de culturas na camada superficial (Serafim et al., 2008; Calonego et al., 2011).

Um dos pontos chaves na melhoria da qualidade física do solo em sistemas de integração é a presença das forrageiras utilizadas como alimento para o gado. Estas culturas normalmente apresentam um sistema radicular vigoroso, o que é fundamental para a reestruturação do solo. O crescimento e a posterior

senescência das raízes destas plantas formam bioporos e contribuem para estabilização de agregados do solo (Bayer et al., 2011). Contudo, vale ressaltar que de nada adianta a presença destas plantas se o produtor não respeitar a capacidade de suporte animal, uma vez que altas taxas de lotações podem comprometer a qualidade física do solo (Petean et al., 2010).

**Qualidade química do solo em sistemas de integração**

Vários estudos têm reportado benefícios nos atributos químicos do solo provocados pela utilização de sistemas de integração. Parte destes resultados é atribuída à ciclagem de nutrientes no solo. A presença de animais no sistema acelera o processo de ciclagem de nutrientes por disponibilizá-los na forma mineralizada por meio das fezes e urina (Balbinot Junior et al., 2009). Em Sistema ILP um dos fatores que mais contribuem para a melhoria na fertilidade é a ciclagem dos nutrientes e a eficiência no uso de fertilizantes, em função das diferentes necessidades das culturas em rotação (Macedo, 2009). A combinação de pastagens seguidas de culturas anuais para a produção de grãos é mais eficiente na manutenção da qualidade química do solo, favorecendo o desenvolvimento das plantas, pois as espécies com sistemas radiculares de diferentes morfologias promovem maior ciclagem de nutrientes (Santos et al., 2001).

Alguns trabalhos têm mostrado incrementos nos teores de nutrientes em sistemas de integração. Santos et al. (2009), trabalhando com sistemas de ILP sob plantio direto durante oito anos, observaram aumento nos teores de P, K e matéria orgânica nos primeiros 10 cm de profundidade, e também relataram redução dos valores de pH e incrementos dos teores de Al trocável, porém sem causar prejuízos às culturas. Segundo os autores, isso ocorreu pela presença de outras bases no complexo de troca, que aumentaram a força iônica da solução do solo, minimizando o efeito tóxico do Al que ocorreria se esse elemento predominasse no sistema. Por outro lado, Carneiro et al. (2009), não verificaram diferenças significativas nos teores de nutrientes em sistema de integração agricultura pecuária e em outros sistemas de manejo avaliados, havendo diferenças apenas desses em relação aos ambientes pastagem e mata nativa. Os autores consideraram os resultados

coerentes, uma vez que nestas áreas não houve correção e adubação, tratando-se de solos originalmente distróficos.

Freire et al. (2012) destacam que sistemas de ILPF têm sido uma boa alternativa na recuperação da qualidade química do solo em áreas com deficiência em nutrientes, contudo afirmam que por ser um sistema complexo, que envolve diversos cultivos, as recomendações para a correção da fertilidade devem ser mais bem estudadas. Uma das grandes vantagens dos sistemas ILP e ILPF é a melhoria no aproveitamento dos nutrientes presentes ou adicionados. Plantas com sistemas radiculares e exigências nutricionais diferentes conseguem otimizar o aproveitamento de nutrientes e, além disso, em muitos casos, a inserção da pastagem ocorre imediatamente após a colheita da cultura de grãos, o que permite um aproveitamento dos resíduos da adubação que foi feita anteriormente (Freitas et al., 2010; Machado & Assis, 2010; Machado et al., 2011).

**BIBLIOGRAFIA**

ANDRADE, L.K.F.; D'ANDREA, A.F.; ROLIM, H.O.; LEITE, E.P.F.; D'ANDREA, R.M.S. & RODRIGUES, G.C. Atributos de fertilidade relacionados à qualidade do solo em mata nativa e área desmatada na bacia do rio Cuiá, em João Pessoa, PB. In: CONGRESSO NORTE NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO, 7., Palmas. 2012. Anais. Palmas, Instituto Federal da Paraíba, 2012. CD-ROM

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W.J. & LACERDA, M.P.C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob Cerrado nativo. Rev. Bras. Cienc. Solo, 31:1099-1108, 2007.

ARSHAD, M.A. & MARTIN, S. Identifying critical limits for soil quality indicators in agroecosystems. Agr. Ecosyst. Environ., 88:153–160, 2002.

BALBINO, L.C.; CORDEIRO, L.A.M.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; A.M.;, G.; MARTÍNEZ, B.; ALVARENGA, R.C.; KICHEL, A.N.; FONTANELI, R.S.; SANTOS, H.P.; FRANCHINI, J.C. & GALERANI, P.R. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. Pesqui. Agropecu. Bras., 46:1-12, 2011.

BALBINOT JUNIOR, A.A.; MORAES, A.; VEIGA, M.; PELISSARI, A. & DIECKOW, J. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. Cienc. Rural. 39:1925-1933., 2009.

BARETTA, D.; MAFRA, Á.L.; SANTOS, J.C.P.; DO AMARANTE, C.V.T. & BERTOL, I. Análise multivariada da fauna edáfica em diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo. Pesqui. Agropecu. Bras., 41:1675-1679, 2006.

BAYER, C.; AMADO, T.J.C.; TORNQUIST, C.G.; CERRI, C.E.C.; DIECKOW, J.; ZANATTA, J.A. & NICOLOSO, R.D.S. Estabilização do carbono no solo e mitigação das emissões de gases de efeito estufa na agricultura conservacionista. Tópicos Cienc. Solo, 7:55-118, 2011.

BONO, J.A.M.; MACEDO, M.C.M. & TORMENA, C.A. Qualidade física do solo em um latossolo vermelho da região sudoeste dos Cerrados sob diferentes sistemas de uso e manejo. Rev. Bras. Cienc. Solo, 37:743-753, 2013.

BONO, J.A.M.; MACEDO, M.C.M.; TORMENA, C.A.; NANNI, M.R.; GOMES, E.P. & MÜLLER, M.M.L. Infiltração de água no solo em um latossolo vermelho da região sudoeste dos Cerrados com diferentes sistemas de uso e manejo. Rev. Bras. Cienc. Solo, 36:1845-1853, 2012.

CALONEGO, J.C.; BORGHI, E. & CRUSCIOL, C.A.C. Intervalo hídrico ótimo e compactação do solo com cultivo consorciado de milho e braquiária. Rev. Bras. Cienc. Solo, 35:283-2190, 2011.

CARNEIRO, M.A.C.; SOUZA, E.D.D.; REIS, E.F.D.; PEREIRA, H.S. & AZEVEDO, W.R.D. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. Rev. Bras. Cienc. Solo, 33:147-157, 2009.

CARVALHO, R.; GOEDERT, W.J. & ARMANDO, M.S. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. Pesqui. Agropecu. Bras., 39:1153-1155, 2004.

COSTA, E.A.; GOEDERT, W.J. & SOUSA, D.D. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. Pesqui. Agropecu. Bras., 41:1185-1191, 2006.

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. Soil. Sci. Soc. Am. J., 35:3-22, 1994.

DORAN, J.W. & ZEISS, M.R. Soil health and sustainability; Managing the biotic component of soil quality. Appl. Soil. Ecol., 5:3-11, 2000.

FONTANELI, R.S.; AMBROSI, I.; SANTOS, H.D.; IGNACZAK, J.C. & ZOLDAN, S.M. Análise econômica de sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno, em sistema de plantio direto. Pesqui. Agropecu. Bras., 35:2129-2137, 2000.

FREIRE, F.M.; COELHO, A.M.; BARROS, N.F.; BARROS FILHO, N.F. & NEVES, J.C.L. Manejo da fertilidade do solo no Sistema de Integração lavoura-pecuária-floresta. Infor. Agrop., 31:25-36, 2012.

FREITAS, F.C.L.; FERREIRA, L.R.; MACHADO, A.F.L. & NASCIMENTO, P.G.M.L. Culturas agrícolas em sistemas agrossilvipastoril. In: Sistema Agrossilvipastoril: OLIVEIRA NETO, S.N.; VALE, A.B.; NACIF, A.P.; VILAR, M.B.; ASSIS, J.B. Integração Lavoura Pecuária e Floresta. 1.ed. Viçosa, Sociedade de Investigações Florestais, 2010. p.69-103.

LEÃO, T.P.; DA SILVA, A.P.; MACEDO, M.C.M.; IMHOFF, S. & EUCLIDES, V.P.B. Least limiting water range: A potential indicator of changes in near-surface soil physical quality after the conversion of Brazilian Savanna into pasture. Soil Till. Res., 88:279-285, 2006.

MACEDO, M.C.M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. Rev. Bras. Zootecn. 38:133-146, 2009.

MACHADO, L.A.Z. & ASSIS, P.G.G. Produção de palha e forragem por espécies anuais e perenes em sucessão à soja. Pesqui. Agropecu. Bras., 45:415-422, 2010.

MACHADO, L.A.Z.; BALBINO, L.C. & CECCON, G. Integração lavoura-pecuária-floresta. 1. Estruturação dos sistemas de integração lavoura-pecuária. 110.ed. Dourados, Embrapa. 2011, 48p.

MARCHÃO, R.L.; BALBINO, L.C.; SILVA, E.M.D.; SANTOS JUNIOR, J.D.D.G.D.; SÁ, M.A.C.D.; VILELA, L. & BECQUER, T. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. Pesqui. Agropecu. Bras., 42:873-882, 2007.

MOREIRA, W.H.; JUNIOR, E.B.; PETEAN, L.P.; TORMENA, C.A.; ALVES, S.J.; COSTA, M.A.T. & FRANCO, H.H.S. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho

Distroférrico em sistema de integração lavoura-pecuária. Rev. Bras. Cienc. Solo, 36:389-400, 2012.

OLIVEIRA NETO, S.N. & PAIVA, H.N. Implantação e manejo do componente arbóreo em sistema Agrossilvipastoril. In: OLIVEIRA NETO, S.N.; VALE, A.B.; NACIF, A.P.; VILAR, M.B.; ASSIS, J.B. Integração Lavoura Pecuária e Floresta. 1.ed. Viçosa, Sociedade de Investigações Florestais, 2010. p.15-68.

PETEAN, L.P.; TORMENA, C.A. & ALVES, S.J. Intervalo hídrico ótimo de um latossolo vermelho distroférrico sob plantio direto em sistema de integração lavoura-pecuária. Rev. Bras. Cienc. Solo, 34:1515-1526, 2010.

PULROLNIK, K.; VILELA, L.; MORAES NETO, S. & MARCHÃO, R.G.J. Desenvolvimento inicial de espécies arbóreas no sistema de integração lavoura-pecuária-floresta. Boletim Pesq. Des., 276:1-48, 2010.

ROMANO, P.A. Integração lavoura-pecuária-floresta: uma estratégia para a sustentabilidade. Infor. Agrop. 31:7-15, 2010.

SANTOS, G.G.; MARCHÃO, R.L.; DA SILVA, E.M.; DA SILVEIRA, P.M. & BECQUER, T. Qualidade física do solo sob sistemas de integração lavoura-pecuária. Pesqui. Agropecu. Bras., 46:1339-1348, 2011.

SANTOS, H.; FONTANELI, R. & TOMM, G. Efeito de sistemas de produção de grãos e de pastagens sob plantio direto sobre o nível de fertilidade do solo após cinco anos. Rev. Bras. Cienc. Solo, 25:645-653, 2001.

SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S.; TOMM, G.O. & SPERA, S.T. Efeito de sistemas de produção mistos sob plantio direto sobre fertilidade do solo após oito anos. Rev. Bras. Cienc. Solo, 27:545-552, 2003.

SCHIAVO, J.A. & COLODRO, G. Agregação e resistência à penetração de um Latossolo Vermelho sob sistema de integração lavoura-pecuária. Bragantia, 71:406-412, 2012.

SERAFIM, M.E.; VITORINO, A.C.T.; PEIXOTO, P.P.P.; SOUZA, C.M.A. & CARVALHO, D.F.D. Intervalo hídrico ótimo em um latossolo vermelho distroférrico sob diferentes sistemas de produção. Eng. Agric., 28:654-665, 2008.

SILVA, R.D.; GUIMARÃES, M.D.F.; AQUINO, A.D. & MERCANTE, F.M. Análise conjunta de atributos físicos e biológicos do solo sob sistema de integração lavoura-pecuária. Pesqui. Agropecu. Bras., 46:1277-1283, 2011.

SILVA, R.R.; SILVA, M.L.N. & FERREIRA, M.M. Atributos físicos indicadores da qualidade do solo sob sistemas de manejo na bacia do alto do Rio Grande-MG. Cienc. Agrotec., 29:719-730, 2005.

SINOPSE DO CENSO DEMOGRÁFICO, Disponível em: < http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=9&uf=00>. Acesso em 9 jan. 2014.

SOUZA, E.D.; COSTA, S.E.V.G.A.; ANGHINONI, I.; LIMA, C.V.S.; CARVALHO, P.C.F. & MARTINS, A.P. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. Rev. Bras. Cienc. Solo, 34:79-88, 2010a.

SOUZA, E.D.; COSTA, S.E.V.G.A.; LIMA, C.V.S.; ANGHINONI, I.; MUERER, E.J. & CARVALHO, P.C.F. Carbono orgânico e fósforo microbiano em sistema de integração agricultura-pecuária submetido a diferentes intensidades de pastejo em plantio direto. Rev. Bras. Cienc. Solo, 32:1273-1282, 2008.

SOUZA, E.D.D.; COSTA, S.E.V.G.D.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.C.D.F.; OLIVEIRA, E.V.F.D.; MARTINS, A.P.; CAO, E. & ANDRIGHETTI, M. Soil aggregation in a crop-livestock integration system under no-tillage. Rev. Bras. Cienc. Solo, 34:1365-1374, 2010b.

SPERA, S.T.; SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S. & TOMM, G.O. Atributos físicos de um Hapludox em função de sistemas de produção integração lavoura-pecuária (ILP), sob plantio direto. Acta Sci-Agron. 32:37-44, 2010a.

SPERA, S.T.; SANTOS, H.P.D.; FONTANELI, R.S. & TOMM, G.O. Integração lavoura e pecuária e os atributos físicos de solo manejado sob sistema plantio direto. Rev. Bras. Cienc. Solo, 33:129-136, 2009.

SPERA, S.T.; SANTOS, H.P.D.; FONTANELI, R.S. & TOMM, G.O. Efeito de integração entre lavoura e pecuária, sob plantio direto, em alguns atributos físicos do solo após dez anos. Bragantia, 69:695-704, 2010b.

VILELA, L.; MARTHA JUNIOR, G.B.; MACEDO, M.C.M.; MARCHÃO, R.L.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; PULROLNIK, K. & MACIEL, G.A. Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. Pesqui. Agropecu. Bras., 46:1127-1138, 2011.

**CAPÍTULO 1**

# QUALIDADE FÍSICA DO SOLO EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA, PECUÁRIA E FLORESTA E OUTRAS PROPOSTAS DE MANEJO DO SOLO

**RESUMO**

Sistemas de integração lavoura, pecuária e floresta têm sido bastante difundidos entre produtores e pesquisadores brasileiros. A avaliação dos atributos físicos de solo nestes sistemas é fundamental para dar suporte ao manejo e manutenção da qualidade do solo. O objetivo deste capítulo foi avaliar o intervalo hídrico ótimo e outras propriedades físicas do solo de um sistema de integração lavoura, pecuária e floresta e de outros sistemas de uso do solo. O trabalho foi realizado na área experimental da Embrapa Agrossilvipastoril, localizada no município de Sinop, Mato Grosso, numa região de transição Cerrado/floresta Amazônica. Os tratamentos consistiram de cinco sistemas de uso do solo: floresta plantada; sistema de integração lavoura, pecuária e floresta; lavoura; pastagem e mata nativa como testemunha. Os atributos físicos de solo foram avaliados em duas camadas, 0-10 e 10-20 cm de profundidade. Com um ano de implantação não houve variação nos atributos físicos relacionados à textura e pouca variação nos relacionados à estrutura com efeito mais marcante sobre a qualidade do solo no tratamento lavoura. A resistência do solo à penetração foi o fator que se mostrou mais preocupante no tocante ao manejo da qualidade do solo nos sistemas avaliados. Os solos nos sistemas floresta plantada e integração lavoura, pecuária e floresta apresentaram qualidade mais próxima da mata na camada mais superficial.

**Termos de indexação:** qualidade do solo, intervalo hídrico ótimo, agrossilvipastoril, física do solo.

## INTRODUÇÃO

A demanda mundial por alimentos é crescente e, para acompanhar esse crescimento, a expansão das áreas agrícolas e o aumento da produtividade têm sido uma realidade no Brasil. Por outro lado, também é crescente a pressão da sociedade para a redução do desmatamento. Dessa forma, a adoção de sistemas de integração como proposta de melhoria no aproveitamento da área de cultivo com variados componentes agrícolas, florestais e pecuários conduzidos concomitantemente ou sequencialmente, aparece como uma alternativa viável e interessante.

Sistemas integração lavoura pecuária (ILP) e integração lavoura pecuária e floresta (ILPF) consistem da implantação, em uma mesma área, de variados sistemas de produção de grãos, fibras, leite, carne, biocombustível, dentre outros, em plantio consorciado, onde há dois ou mais cultivos ao mesmo tempo; ou de forma sequencial, onde um ou mais cultivos dão lugar a outro(s) após um período de uso; ou ainda rotacionado, onde um cultivo é empregado na entressafra de outro. O manejo pode ainda apresentar as três características ao mesmo tempo. Os sistemas ILPF podem ser considerados uma "evolução" dos sistemas ILP, por conter um componente arbóreo e possibilitar integrar na mesma área atividades agrícolas, pecuárias e arbóreas (Balbino et al. (2011).

Vários trabalhos tratam do efeito dos sistemas de integração na qualidade física de solos (Souza et al., 2010; Spera et al., 2010; Moreira et al., 2012; Schiavo & Colodro, 2012). Por sua vez, poucos são os trabalhos realizados na Amazônia Brasileira, região de maior pressão quanto à expansão de novas áreas para a agropecuária.

O objetivo deste capítulo foi avaliar a qualidade física do solo em resposta à implantação após um ano do sistema de integração lavoura, pecuária e floresta e outros sistemas de cultivo na região Amazônica brasileira.

## MATERIAL E MÉTODOS

A avaliação do solo do sistema de ILPF, lavoura, floresta plantada e pastagem ocorreu na área experimental da Embrapa Agrossilvipastoril, localizada no município de Sinop, na região norte do estado de Mato Grosso numa área com

bioma caracterizado como Cerradão (Ferri, 1977). O ponto central da área experimental encontra-se nas coordenadas 11º50'53" S e 55°38'57" W. A região possui clima equatorial, com três meses de seca e precipitação anual de 2.000 a 2.500 mm. A temperatura média anual é de 24 $^{o}$C, com máximas em torno dos 40 $^{o}$C e mínimas próximas de 20 $^{o}$C. A altitude é de 380 m (SEMA – MT, 2014), com relevo plano e predomínio do Latossolo Vermelho Amarelo argiloso.

Todos os tratamentos foram implantados em outubro de 2011, com o estabelecimento dos respectivos sistemas de produção: I) FP – floresta plantada: cultivo de eucalipto (*Eucaliptus urograndis* clone H13) em espaçamento 3 x 3 metros plantados em sulcos de 30 cm de profundidade; II) ILPF – sistema de integração lavoura, pecuária e floresta: eucalipto (*Eucaliptus urograndis* clone H13) dispostos em renques de linhas triplas espaçadas 30 m com espaçamento 3 x 3 metros no renque, com cultivo anual, em plantio direto, de soja (*Glycine max* (L.) Merr.) no verão, variedades BRS Favorita no primeiro ano, e BRSGO 8560 RR no segundo ano) utilizando-se 40 kg ha$^{-1}$ de sementes, e milho safrinha (*Zea mays*) no inverno, variedade DKB 175 nos dois anos de cultivo, com utilização de 50 kg ha$^{-1}$ de sementes + pastagem (*Brachiaria brizantha (Hochst.) Stapf.* Cv. Marandú) nas entrelinhas das árvores, a partir de 5,5 kg ha$^{-1}$ de sementes, com estabelecimento da pastagem de inverno após a colheita do milho; III) LAV – lavoura: sistema de plantio direto com soja no verão e milho safrinha no inverno, utilizando-se as mesmas variedades e gasto de sementes descritas previamente; IV) PAS – pastagem: sistema de plantio direto de forrageira em área total (*Brachiaria brizantha Hochst. Stapf.* Cv. Marandu), com gasto de sementes de 5,5 kg ha$^{-1}$ e sem pastoreio e, V) MATA – floresta nativa: área tomada como referência composta pelo vegetação caracterizada como Cerradão.

Em novembro e dezembro de 2012 foram realizadas as coletas das amostras de solo. Neste momento, nas áreas com lavoura (integração lavoura pecuária e floresta e lavoura), a soja estava no campo em seu segundo ano de cultivo, com restos da palhada do milho safrinha de apenas um cultivo espalhados sobre a superfície do solo. As áreas de pastagem (integração lavoura pecuária e floresta, pastagem) haviam sofrido um corte da forrageira para fenação.

Até o momento das coletas das amostras de solo, nas parcelas de floresta plantada houve trânsito de máquinas para a sulcagem, plantio, aplicação de herbicida pré-emergente no sulco e pós-emergente nas entrelinhas, sendo todas essas operações utilizando um trator de 75 cv de 4.125 kg e, quando necessário, acoplado a um pulverizador florestal de 920 kg quando vazio. Em uma oportunidade, foi realizada uma aplicação de inseticida e uma outra de herbicida nas entrelinhas, quando se utilizou um trator de 55 cv de 3.705 kg e o mesmo pulverizador citado anteriormente.

Na lavoura, para o plantio da soja e do milho, no primeiro ano, foi utilizado o trator de 75 cv com uma semeadeira de 15 linhas e 2.500 kg. No segundo ano, o trator foi o de 55 cv, porém com uma semeadeira de 12 linhas e 1.500 kg. Uma aplicação de herbicida foi realizada tanto na soja quanto no milho, e outra de fungicida foi executada apenas na soja nos dois anos. Nestes casos foram utilizados um trator de 55 cv e um pulverizador de 1.200 kg. Nas colheitas da soja e do milho foram utilizados veículos pequenos apropriados para uso em experimentos e relativamente leves.

Na pastagem, foi realizada aplicação de herbicida pré-plantio utilizando-se trator de 55 cv e pulverizador de 1.200 kg. O plantio foi feito utilizando-se o trator de 75 cv e a plantadeira de 12 linhas. No primeiro ano a braquiária sofreu corte em operação com roçadeira de 250 kg acoplada a um trator de 170 cv e 9.350 kg. Posteriormente não se verificou entrada de implementos na área até as coletas.

Nos entre renques da integração lavoura, pecuária e floresta foram realizados os mesmos tratos que na área de lavoura. Nos renques de eucalipto houve sulcagem para o plantio da cultura, aplicação de herbicida pré-emergente no sulco, pós-emergente nas entre linhas e uma roçada também na entre linha. Em todos os tratos utilizou-se um trator de 75 cv de 4.125 kg, pulverizador florestal de 920 kg e roçadeira de 1,2 m de largura e 150 kg. Posteriormente, apenas uma aplicação de inseticida foi realizada nas entrelinhas do renque, quando se utilizou um trator de 55 cv de 3.705 kg e o mesmo pulverizador florestal citado anteriormente.

O delineamento experimental adotado foi em blocos ao acaso, com quatro repetições. Cada unidade experimental possuía dois hectares. A área na qual o

experimento foi instalado foi utilizada previamente por mais de 30 anos para a produção de soja, milho e algodão. Antes da instalação do experimento, à exceção do tratamento MATA, uma gradagem foi realizada na área total, não havendo posterior revolvimento do solo.

Para a avaliação da qualidade do solo, foram coletadas amostras indeformadas com auxilio de anéis cilindrícos, de dimensões aproximadas de 5 cm de altura e de diâmetro. No centro da camada de 0 a 10 cm de cada unidade experimental foram coletados aleatoriamente quatro anéis com solo para a realização das análises físicas. Posteriormente, os anéis foram encaminhados para o Laboratório de Física do Solo da Universidade Federal de Viçosa, onde as análises foram efetuadas. Especificamente para a determinação da curva de retenção de água no solo, índice S e intervalo hídrico ótimo, curva de distribuição do diâmetro de poros, foram coletadas mais trinta anéis com amostras de solo em três repetições (dez em cada repetição) dos tratamentos pastagem, lavoura e mata, no centro das camadas de 0 a 10 e de 10 a 20 cm. No tratamento integração lavoura, pecuária e floresta, para se avaliar a influência do componente arbóreo e na floresta plantada para se avaliar a influência da sulcagem efetuada para o plantio das mudas, o mesmo número de amostras foi coletado nas mesmas profundidades tanto nos renques linhas como nos entre renques e entrelinhas, respectivamente. As amostras deformadas também foram coletadas para análise.

As análises físicas realizadas, conforme Embrapa (2011), foram: densidade do solo (Ds), densidade de partícula (Dp), porosidade total (Pt), macro (Ma) e microporosidade (Mi), argila dispersa em água (ADA), grau de floculação (GF), curva de retenção de água no solo e composição granulométrica. O intervalo hídrico ótimo (IHO) foi avaliado conforme Letey (1985), e o índice S determinado conforme Dexter (2004). Por ser um atributo diretamente relacionado as propriedades físicas do solo, a matéria orgânica (MO) foi obtida pelo teor de carbono orgânico total que foi determinado segundo Yeomans & Bremner (1988).

A composição granulométrica foi realizada por tramissagem (areia) e pelo método da pipeta (silte e argila), utilizando-se como dispersante químico o hidróxido de sódio a 0,1 mol $L^{-1}$. Na dispersão mecânica utilizada na determinação da granulometria e da argila dispersa em água adotou-se a agitação lenta de 50 rpm

por 16 h em agitador do tipo Wagner, e na determinação de silte utilizou-se o procedimento de cálculo pela diferença entre os teores de areia e argila (Ruiz, 2005). As densidades do solo e de partículas foram determinadas pelo método do anel volumétrico e do balão volumétrico, respectivamente. O grau de floculação (GF) foi calculado por meio da equação: GF = [(argila-ADA)/argila]x100.

A porosidade total (Pt) foi determinada pela relação entre densidade do solo (Ds) e a de partículas (Dp), conforme a equação PT = 1-(Ds/Dp). A microporosidade (Mi) foi obtida a partir da quantidade de água retida nas amostras indeformadas de solo submetidas ao potencial de -0,006 MPa e a macroporosidade (Ma) foi calculada pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade (Ma = Pt – Mi).

Na determinação da curva de retenção de água no solo, as amostras com estrutura preservada foram submetidas aos potenciais -0,004; -0,006; -0,008 MPa, aplicados em uma mesa de tensão (Topp & Zebchuky, 1979) e -0,01; -0,03; -0,05; -0,07; -0,1; -0,5 e -1,5 MPa aplicados em placas porosas dispostas em câmaras de pressão (Klute, 1986). A curva característica da água no solo obtida foi ajustada pelo modelo proposto por Van Genuchten (1980), descrito na equação 1, que associa os valores de umidade obtidos no equilíbrio com os respectivos potenciais. A umidade de saturação (θs) e a umidade residual (θr), constantes no modelo, foram tratadas como variáveis independentes, sendo assumidas como equivalentes à porosidade total e à umidade em equilíbrio com o potencial de -1,5 MPa. O parâmetro **m** foi considerado dependente de **n**, e equivalendo a 1 – 1/n. Na obtenção deste ajuste foi utilizado o software SWRC® versão 3.0 (Dourado Neto et al., 1990). O índice S foi calculado a partir dos parâmetros de ajuste da curva, como proposto por Van Genuchten (1980), utilizando-se a equação 2.

$$\theta = \theta r + \frac{(\theta s - \theta r)}{[1+(\alpha \Psi)^n]^m} \qquad (1)$$

$$S = -n.(\theta s - \theta r).\left[1 + \frac{1}{m}\right]^{-(1+m)} \qquad (2),$$

onde:

θ = Umidade do solo ($m^3\ m^{-3}$);

θ*r* = Umidade do solo na tensão de 1,5 MPa ($m^3\ m^{-3}$)

θ*s* = Umidade do solo saturado ($m^3\ m^{-3}$);

*Ψ* = Potencial da água no solo (MPa);

*α, m, n* = parâmetros empíricos da equação, obtidos pelo ajuste do modelo.

A partir da curva de retenção foi calculada a curva de distribuição de poros no solo utilizando-se a equação 3. A porcentagem de poros com diâmetro superior ao calculado para cada potencial foi obtida pela equação 4. Com os dados obtidos, foram construídas as curvas de distribuição de poros (diâmetro do poro *versus* porcentagem de poros) para os tratamentos avaliados.

$$dv = \frac{(4.\sigma.cos\varphi)}{(\rho_w.g.h)} \quad (3)$$

$$\%V = 100.\left[\frac{1-(PT-\theta)}{PT}\right] \quad (4)$$

onde:

dv = diâmetro dos poros (mm);

σ= tensão superficial da água ($J\ m^{-2}$);

φ= ângulo de contato entre a água e a parede do poro;

$\rho_w$ = densidade da água ($kg\ m^{-3}$);

g = aceleração da gravidade ($m\ s^{-2}$);

h = altura da coluna de água (tensão aplicada) (cm).

%V = volume de poros com diâmetro superior ao calculado para cada tensão

Θ = umidade volumétrica correspondente a tensão utilizada para o cálculo do diâmetro de poros ($m^3m^{-3}$) e

PT = porosidade total do solo ($m^3m^{-3}$).

Na determinação do intervalo hídrico ótimo (IHO) cada grupo de três anéis foi submetido a um dos seguintes potenciais de água no solo: -0,004; -0,006; -0,008 MPa aplicados em uma mesa de tensão (Topp & Zebchuky, 1979) e -0,01; -0,03; -0,05; -0,07; -0,1; -0,5 e -1,5 MPa aplicados em placas porosas dispostas em câmaras de pressão (Klute, 1986). As amostras foram mantidas na mesa ou placa porosa até atingirem o equilíbrio quando então foram retiradas do equipamento, pesadas e submetidas à determinação da resistência do solo à penetração (Rp) em laboratório. A determinação desta análise foi realizada utilizando-se um penetrômetro eletrônico Marconi, modelo MA-933, conforme indicações de

Tornema (1998). As análises foram realizadas no centro de cada amostra ao longo da altura do anel, descartando-se os valores obtidos no primeiro centímetro das extremidades superior e inferior. Após a determinação da Rp, as amostras previamente pesadas foram levadas à estufa a 105 ºC por 48 horas, para a determinação da umidade (θ) e densidade do solo (Ds). Valores de Rp foram ajustados em relação à Ds e θ, utilizando-se um modelo de regressão não linear proposto por Busscher (1990), conforme equação 5. Os valores de θ foram ajustados em relação à Ds e ao potencial da água no solo (Ψ), utilizando-se um modelo de regressão não linear proposto por Tornema (1998), conforme equação 6. Os parâmetros de ajuste destas equações foram obtidos utilizando-se o software Statistica®.

$$RP = a.\theta^{b}.Ds^{c} \quad (5)$$

$$\theta = EXP(d + e.Ds).\Psi^{f} \quad (6),$$

onde:

*a, b, c, d, e, f* = parâmetros de ajuste.

Na determinação do IHO foi utilizado um algoritmo desenvolvido em EXCEL® (Leão & Silva, 2004). Com o algoritmo foi gerado um gráfico a partir das equações 7, 8, 9, e 10, que relacionam a Ds com: umidade (θ) na capacidade de campo ($\theta_{CC}$), equivalente ao potencial de -0,01 MPa; θ no ponto de murcha permanente ($\theta_{PMP}$), equivalente ao potencial de -1,5 MPa; θ em que a porosidade de aeração ($\theta_{PA}$) for ≤ 0,1 $m^3$ $m^{-3}$ e; θ em que a resistência à penetração ($\theta_{RP}$) atinge 2,0 MPa. Os limites indicados anteriormente foram utilizados no algoritmo a partir de dados de literatura, sendo para $\theta_{CC}$, $\theta_{PMP}$, $\theta_{PA}$ e $\theta_{RP}$ considerados os valores propostos, respectivamente, por Haise et al. (1995.), Richards e Weaver (1944), Grable e Siemer (1968) e Taylor et al. (1966).

$$\theta_{cc} = EXP(d + e.Ds).0{,}01^{f} \quad (7)$$

$$\theta_{PMP} = EXP(d + e.Ds).1{,}5^{f} \quad (8)$$

$$\theta_{RP} = \left(\frac{2}{a.Ds^{c}}\right)^{\frac{1}{b}} \quad (9)$$

$$\theta_{PA} = \left(1 - \frac{Ds}{Dp}\right) - 0{,}1 \qquad (10)$$

O IHO foi definido como a área entre o limite superior e inferior dos conteúdos de água correspondendo às curvas geradas.

Na análise estatística os sistemas de produção constituíram os tratamentos, sendo os resultados submetidos aos testes de Shapiro Wilk e Levene para a constatação da existência ou não de normalidade e homogeneidade de variâncias respectivamente e transformados quando necessário para a realização análise de variância (ANOVA), e teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Análise inicial dos dados

Diferenças significativas entre tratamentos foram verificadas apenas para as variáveis Ds, Pt, PMa e PMi. A semelhança nos resultados de composição granulométrica e argila dispersa em água demonstram similaridade na classe do solo utilizada no experimento (Tabela 1). O solo é considerado muito argiloso, sendo bem representativo dos Latossolos que dominam a região do Cerrado brasileiro. Por sua vez, e como esperado, a matéria orgânica na área de vegetação nativa foi superior aos demais sistemas de cultivo.

### Densidade do solo, porosidade total macro e microporosidade

A maior densidade do solo foi verificada no tratamento lavoura e a menor na mata com valores de 1,18 e 0,99 g $dm^{-3}$, respectivamente (Tabela 2). Este resultado decorre do manejo do solo no sistema de cultivo, onde há trânsito de máquinas que alteraram a estrutura do solo. Além disso, o solo da mata apresentou altos teores de matéria orgânica diferindo de todos os sistemas manejados. A matéria orgânica, por ter baixa densidade, pode ter contribuído para a redução nos valores de Ds no mata e consequentemente um dos motivos pelos quais houve diferenças significativas entre este ambiente e a lavoura.

As variações na densidade do solo encontradas neste estudo entre a lavoura e a mata são corroboradas pelas observadas por Machado et al. (2008), que avaliaram lavoura de culturas anuais, pousio com pastagem de braquiária sem pastejo e mata, todos com mais de 20 anos de uso num Latossolo Vermelho distrófico, Schiavo e Colodro (2012), que compararam uma área manejada com lavoura de soja no verão e milho safrinha no inverno por três anos, pastagem de braquiária e de capim tanzânia por sete anos e Cerrado, num Latossolo Vermelho, e Albuquerque et al. (2001), que avaliaram lavoura em plantio direto e convencional e mata por seis anos num Nitossolo Vermemlho.

Tabela 1 – Composição granulométrica e argila dispersa em água de diferentes sistemas de cultivo e área de mata em duas profundidades em Sinop – MT

| Tratamentos | AG | AF | SIL | ARG | ADA | MO |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | % | | | dag $kg^{-1}$ |
| | | | 0-10 cm | | | |
| FP | 18,6 | 18,6 | 1,8 | 61,1 | 9,4 | 4,59 b |
| ILPF | 17,1 | 17,8 | 1,6 | 63,6 | 8,7 | 4,77 b |
| LAV | 17,3 | 18,3 | 3,7 | 61,7 | 10,3 | 4,80 b |
| PAS | 15,3 | 18,0 | 6,3 | 60,3 | 9,3 | 4,88 b |
| MATA | 20,7 | 20,3 | 1,0 | 58,0 | 10,4 | 7,99 a |
| Média | 18,60 | 19,09 | 2,64 | 59,67 | 9,28 | 5,40 |
| CV % | 18,82 | 12,80 | 70,47 | 8,99 | 17,40 | 26,53 |
| | | | 10-20 cm | | | |
| FP | 18,1 | 19,3 | 5,1 | 57,4 | 13,8 | 2,87 b |
| ILPF | 15,9 | 16,6 | 2,4 | 65,1 | 13,7 | 3,17 b |
| LAV | 14,3 | 17,7 | 6,3 | 61,0 | 13,9 | 3,20 b |
| PAS | 15,0 | 16,7 | 5,3 | 64,3 | 13,6 | 3,36 b |
| MATA | 20,0 | 19,3 | 3,3 | 57,3 | 13,4 | 4,56 a |
| Média | 17,08 | 18,46 | 4,26 | 60,17 | 13,77 | 3,43 |
| CV % | 18,48 | 15,05 | 37,77 | 9,6 | 14,04 | 20,76 |

AG: areia grossa; AF: areia fina; SIL: silte; ARG: argila total; ADA: argila dispersa em água.

Araújo et al. (2010), por sua vez, não observaram diferenças na Ds entre o ambiente tomado como referência e sistemas de integração lavoura, pecuária; os autores avaliaram lavoura em plantio direto e convencional e sistemas ILP todos com três anos de duração implantados num Latossolo Amarelo. Piva et al. (2009), num experimento cujos tratamentos eram lavoura de milho em plantio direto e convencional e sistema de integração lavoura pecuária, todos com seis anos de implantação num Latossolo Bruno, não observaram variações neste atributo entre lavoura e sistemas ILP.

Tabela 2 – Atributos físicos de solo em diferentes sistemas de cultivo e integração lavoura pecuária floresta em Sinop – MT

| **Tratamentos** | **Ds** | **Pt** | **Pma** | **Pmi** |
|---|---|---|---|---|
| | g $cm^{-3}$ | | $m^3$ $m^{-3}$ | |
| FP | 1,14 ab | 0,548 ab | 0,156 ab | 0,392 ab |
| ILPF | 1,04 ab | 0,607 a | 0,185 ab | 0,422 a |
| LAV | 1,18 a | 0,522 b | 0,134 b | 0,388 ab |
| PAS | 1,06 ab | 0,573 ab | 0,191 ab | 0,382 ab |
| MATA | 0,99 b | 0,590 ab | 0,267 a | 0,323 b |
| Média | 1,07 | 0,570 | 0,192 | 0,378 |
| CV % | 8,96 | 7,55 | 34,12 | 12,49 |

Ds: densidade do solo; Pt: porosidade total; Pma: macroporosidade; Pmi: microporosidade. Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Por outro lado, Wendling et al. (2012) não encontraram diferenças na densidade do solo de lavoura de soja, sorgo e milho em plantio direto e Cerrado num trabalho onde os tratamentos foram Cerrado, floresta de pinus de 32 anos, pastagem de *Brachiaria decumbens* com três anos de idade e lavoura em plantio direto com 11 anos em um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico e Neves et al. (2007) estudaram variadas combinações de sistemas agrossilvipastoris com um ano de instalação onde as culturas anuais soja e arroz eram consorciadas com *Brachiaria brizantha* e eucalipto e compararam com Cerrado, pastagem de *Brachiaria brizantha* com 20 anos de instalação e floresta plantada de eucalipto em Latossolo

Vermelho Distrófico típico e verificaram que solo de ILPF e floresta plantada apresentaram maior densidade que o solo de mata nativa.

Os valores de Ds observados entre os sistemas estão abaixo dos encontrados por Bono et al. (2013) num Latossolo Vermelho Distrófico com lavoura de soja em plantio direto, pastagem com *Brachiaria decumbens*, diferentes sistemas ILP onde a integração entre soja e *Brachiaria brizantha* e *Panicum maximum* ocorreram de forma sequencial todos com dois anos de instalação e Cerradão (1,31; 1,25; 1,28; 1,22 e 1,18 g $cm^{-3}$ respectivamente), e aos considerados limitantes ao desenvolvimento das plantas, como definidos por Camargo e Alleoni (1997) e Reinert et al. (2006) 1,55 e 1,30 g $cm^{-3}$ respectivamente, entretanto são similares aos verificados por Wendling et al. (2012), na mata, pastagem e lavoura (0,98; 1,04 e 1,21 g $cm^{-3}$ respectivamente).

A porosidade total foi maior no tratamento da integração (ILPF) (0,607 $m^3m^{-3}$), e menor na lavoura (0,522 $m^3m^{-3}$) (Tabela 2). Uma vez que a porosidade total considera o somatório da macro e microporosidade, esses resultados ocorrem devido à maior microporosidade observada na integração e à menor macroporosidade da monocultura. Grande parte dos trabalhos não tem verificado diferenças entre o volume total de poros entre lavoura e sistemas de integração com agricultura e pecuária (Jakelaitis et al., 2008; Marchão et al., 2007a; Piva et al., 2009).

A área de mata apresentou maior valor de macroporosidade (0,267 $m^3m^{-3}$) dentre os tratamentos avaliados, mas diferiu apenas da lavoura (0,134 $m^3m^{-3}$) (Tabela 2). Esses resultados são coerentes com os observados para Ds, pois o aumento da Ds normalmente implica na redução da Pma do solo e aumento da Pmi (Camargo e Alleoni, 1997). Isso certamente ocorreu devido ao trânsito de máquinas na lavoura. Resultado semelhante foi observado no trabalho de Schiavo e Colodro (2012), no qual o solo de Cerrado apresentou maior volume de macroporos do que áreas de lavoura e pastagem. Já Araújo et al. (2010) não verificaram diferenças significativas para essa variável entre a mata e a lavoura de soja em plantio direto. Todos os sistemas de cultivos avaliados apresentaram valores médios de Pma acima do considerado crítico por Reinert et al. (2006), (0,10 $m^3$ $m^{-3}$) para o crescimento radicular das plantas.

A mata apresentou o menor valor médio para Pmi (0,323 $m^3m^{-3}$) diferindo apenas da integração (0,422 $m^3m^{-3}$) (Tabela 3). Dois fatores podem estar relacionados a esses resultados: a formação de bioporos pelas raízes da forrageira na entressafra no sistema integrado, como sugerido por Bayer et al. (2011) e à grande quantidade de macroporos na mata. Os resultados do volume de microporos deste trabalho contrastaram com os observados por Spera et al. (2010) e Araújo et al. (2010), que avaliaram sistemas ILP com variadas combinações de cultivos e observaram maior volume de microporos nas áreas de vegetação nativa em relação aos sistemas de integração. Já Albuquerque et al. (2001) não verificaram diferenças entre a Pmi da mata e do sistema de integração em plantio direto.

De modo geral, mesmo dentre as variáveis que apresentaram diferenças significativas, pode-se considerar não ter havido discrepâncias relevantes de ordem prática entre os sistemas de cultivo estudados. Isto pode ser associado ao fato de o experimento ser relativamente novo e ainda com pouco tempo para grandes alterações nas características físicas do solo.

**Curva de retenção de água no solo e índice S**

Os dados obtidos para a curva de retenção de água no solo foram ajustados pela equação de Van Genuchten ($R^2 \geq 0,96$) para todos os tratamentos e as duas profundidades avaliadas (Figura 1), sendo todos os coeficientes obtidos estatisticamente significativos ($p < 0,05$) (Tabela 3).

Na camada de 0-10 cm destaca-se uma redução de 0,31 $m^3\ m^{-3}$ na umidade do solo da mata, com a variação do potencial matricial ($\Psi$) de 0 para -0,004 MPa (Figura 1). Tal variação pode estar associada ao maior volume de macroporos da área de vegetação nativa, pois, como indicado por Ferreira (2010), a macroporosidade apresenta grande importância na infiltração, aeração e condução, mas pouca eficiência na retenção e disponibilidade de água no solo.

As alterações da densidade do solo influenciaram a umidade na capacidade de campo (CC, $\Psi$ = -10 KPa) e no ponto de murcha permanente (PMP, $\Psi$ = -1500 KPa) entre os sistemas na camada de 0-10 cm, evidenciado pela amplitude de $\Theta$ nestes potenciais, que equivaleu a 0,07 e 0,05 $m^3m^{-3}$, respectivamente. Esse

comportamento para a umidade relacionada ao PMP também foi verificado por Klein e Libardi (2002), numa comparação de solos de lavoura de sequeiro, lavoura irrigada e de mata, e por Machado et al. (2008), ao avaliarem pastagem e mata. A área de pastagem apresentou maior capacidade de água disponível (0,154 $m^3m^{-3}$), o que será tratado posteriormente na discussão da distribuição do diâmetro de poros.

Tabela 3 – Parâmetros de ajuste da equação de Van Genuchten, coeficiente de ajuste e índice S para diferentes sistemas de cultivo e MATA em duas camadas de solo em Sinop – MT

| | α (1) | n(1) | m(1) | Θs(2) | Θr(3) | θs-θr(4) | ΘDis.(5) | R2(6) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1/KPa | | | $m^3m^{-3}$ | | | | |
| **Camada de 0-10 cm** | | | | | | | | |
| **FP EL** | 0,3412 | 1,0008 | 1,046 | 0,604 | 0,196 | 0,408 | 0,408 | 0,993 |
| **FP L** | 0,2404 | 0,6791 | 1,140 | 0,548 | 0,192 | 0,356 | 0,356 | 0,991 |
| **ILPF ER** | 1,0555 | 4,4899 | 0,128 | 0,604 | 0,242 | 0,362 | 0,362 | 0,977 |
| **ILPF R** | 0,7854 | 4,1358 | 0,165 | 0,609 | 0,200 | 0,409 | 0,409 | 0,996 |
| **LAV** | 0,5858 | 5,3633 | 0,133 | 0,572 | 0,231 | 0,341 | 0,341 | 0,989 |
| **PAS** | 0,2887 | 1,0736 | 0,481 | 0,522 | 0,212 | 0,310 | 0,310 | 0,979 |
| **MATA** | 3,59155 | 1,940 | 0,254 | 0,610 | 0,193 | 0,148 | 0,417 | 0,991 |
| **Camada de 10-20 cm** | | | | | | | | |
| **FP EL** | 1,1625 | 3,1613 | 0,155 | 0,539 | 0,222 | 0,317 | 0,317 | 0,977 |
| **FP L** | 0,0566 | 0,63256 | 2,0313 | 0,510 | 0,195 | 0,315 | 0,315 | 0,970 |
| **ILPF ER** | 1,1991 | 2,5417 | 0,235 | 0,607 | 0,265 | 0,342 | 0,342 | 0,992 |
| **ILPF R** | 0,3215 | 0,6755 | 1,151 | 0,561 | 0,247 | 0,314 | 0,314 | 0,960 |
| **LAV** | 0,0047 | 0,5339 | 5,856 | 0,515 | 0,256 | 0,259 | 0,259 | 0,967 |
| **PAS** | 0,2756 | 0,9079 | 1,039 | 0,512 | 0,274 | 0,238 | 0,238 | 0,980 |
| **MATA** | 11,1743 | 2,4905 | 0,119 | 0,586 | 0,200 | 0,386 | 0,386 | 0,993 |

(1) Parâmetros empíricos da equação 1; (2) umidade no solo na condição de solo saturado; (3) umidade no solo no ponto de murcha permanente (PMP) Ψ=-1500 KPa; (4) umidade no solo entre a saturação e o PMP; (5) capacidade de água disponível: umidade no solo entre a capacidade de campo (Ψ= -10 KPa) e o ponto de murcha permanente; ; (6) coeficiente de determinação da equação 1.

Na segunda camada avaliada (10-20 cm), os solos dos sistemas integrados entre renque e integrados renque apresentaram elevada umidade de saturação (0,607 e 0,561 $m^3m^{-3}$, respectivamente) (Tabela 4), inclusive acima do verificado no

solo da mata (0,586 $m^3$ $m^{-3}$). No solo da área de vegetação natural, de maneira similar ao verificado para a camada mais superficial, percebe-se a rápida perda de água associada aos macroporos. As umidades mais elevadas associadas ao PMP foram verificadas nos tratamentos pastagem, ILPF renque, lavoura e ILPF entre renque (Tabela 4).

Também nesta camada de 10-20 cm as alterações na densidade influenciaram a umidade associada à capacidade de campo e ao ponto de murcha permanente, mas agora com maior amplitude no PMP. A amplitude de Θ nos sistemas associados à CC e ao PMP foram de, 0,05 e 0,08 $m^3$ $m^{-3}$ respectivamente.

A área de mata foi a que apresentou o maior volume de capacidade de água disponível na camada de 10-20 cm (0,097 $m^3$ $m^{-3}$) (Tabela 4). As curvas associadas aos solos da mata e floresta plantada linha foram as que indicaram menores umidades em função do Ψm, provavelmente pelo efeito da porosidade como já citado anteriormente no caso da vegetação nativa, e da sulcagem na linha de plantio do eucalipto efetuada até 30 cm de profundidade.

As curvas de retenção da água no solo correspondentes à camada de 10-20 cm sugerem que, se por uma lado o manejo pode prejudicar algumas características físicas pelo aumento da Ds e diminuição da Pma, outros atributos podem ser favorecidos quanto à qualidade do solo, como, por exemplo, a retenção da água no solo. Isso também foi observado por Santos et al. (2011), que verificaram maiores valores de umidade em sistemas manejados com pastagem, lavoura em plantio direto e integração lavoura pecuária, em relação ao solo da vegetação nativa de Cerrado.

Aparentemente, os teores de matéria orgânica não influenciaram a retenção da água no solo, uma vez que a o tratamento mata (de maior teor de MO) não apresentou maior retenção. Assim as variações observadas devem ter ocorrido mais em função das alterações na porosidade e densidade do solo.

Merece destaque ainda a similaridade visual das curvas de retenção de água do solo entre a maioria dos tratamentos nas duas camadas avaliadas (Figura 1). Esta similaridade certamente decorre do tempo de instalação do experimento, que é relativamente pequeno e insuficiente para maiores nas características físicas do solo.

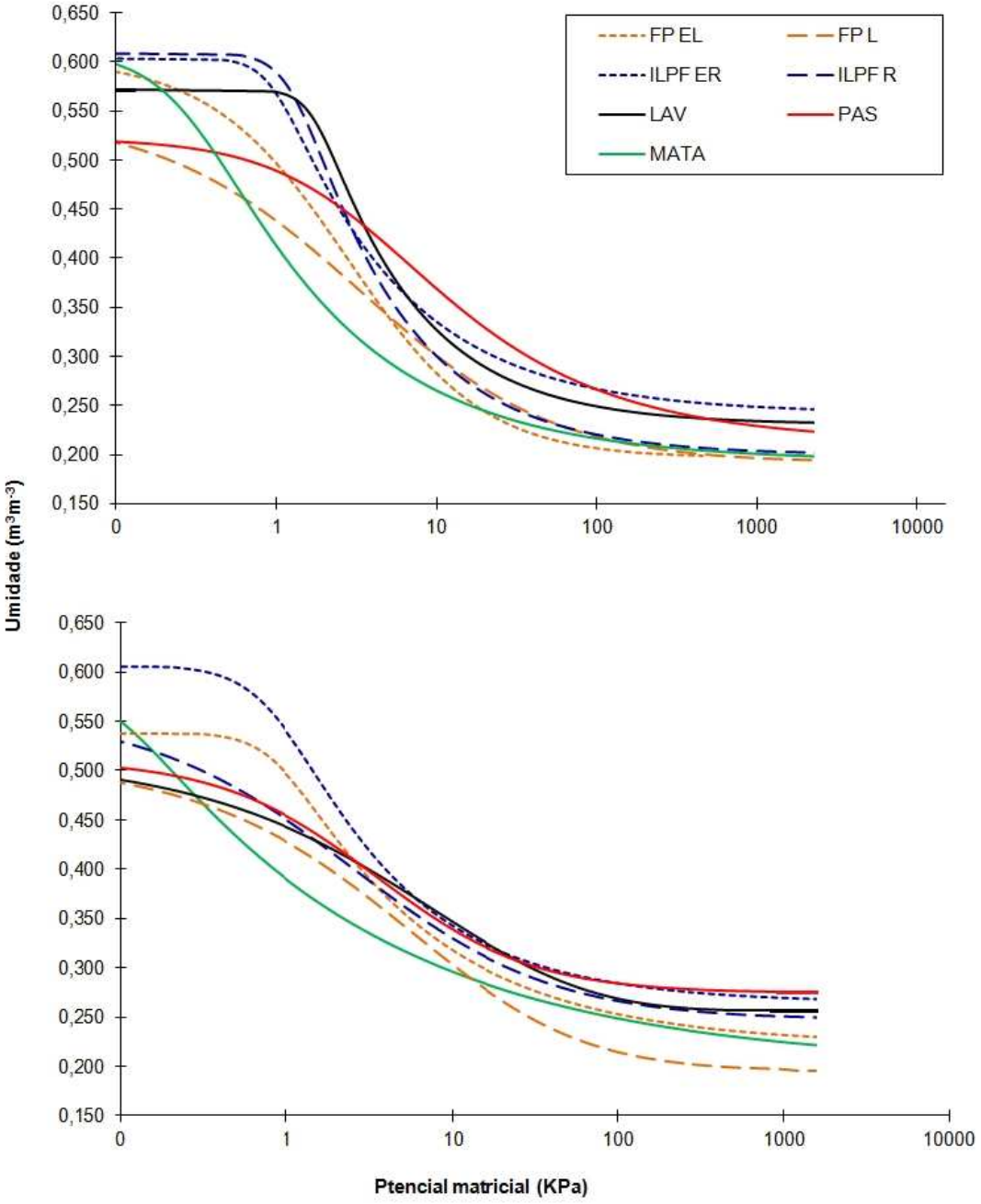


Figura 1 – Curvas ajustadas de retenção da água no solo para diferentes sistemas de cultivo e mata em duas camadas de solo em Sinop – MT. FP EL: floresta plantada entre linha; FP L: floresta plantada linha; ILPF ER: integração lavoura pecuária floresta entre renque; ILPF: integração lavoura pecuária floresta renque; LAV: lavoura; PAS: pastagem; MATA: mata nativa.

O índice S, como proposto por (Dexter, 2004), é definido como a declividade da curva característica de retenção da água do solo em seu ponto de inflexão. Um alto valor de S representa presença de poros estruturais formados pela agregação

de partículas do solo e, portanto, boa qualidade física do solo. Esse autor ainda define o limite entre solos com boa e pobre qualidade estrutural, que corresponde ao valor S de 0,035. Por sua vez, tem sido aceito que valores de S inferiores a 0,020 estão associados à más condições físicas do solo.

Na camada superficial (0-10 cm) todos os valores de índice S estiveram acima de 0,035, sendo os maiores associados aos sistemas integração lavoura pecuária e floresta renque, lavoura e integração lavoura pecuária e floresta entre renque (Figura 2). Na floresta plantada as discrepâncias verificadas são associadas aos locais de amostragem (linha e entrelinha), que se diferem pela sulcagem na linha de plantio. Neste caso, em floresta plantada linha a operação mecânica realizada na época do plantio atuou desestruturando o solo contribuindo para a redução do parâmetro S. Na área de mata o índice S foi de 0,039, o mais próximo dentre os tratamentos avaliados do valor considerado limite entre boa e pobre qualidade estrutural do solo, o que pode ser associado ao grande volume de macroporos presente neste sistema e ao fato de a declividade da curva de retenção ser dependente da porosidade microestrutural ou microporosidade (Andrade e Stone, 2009).

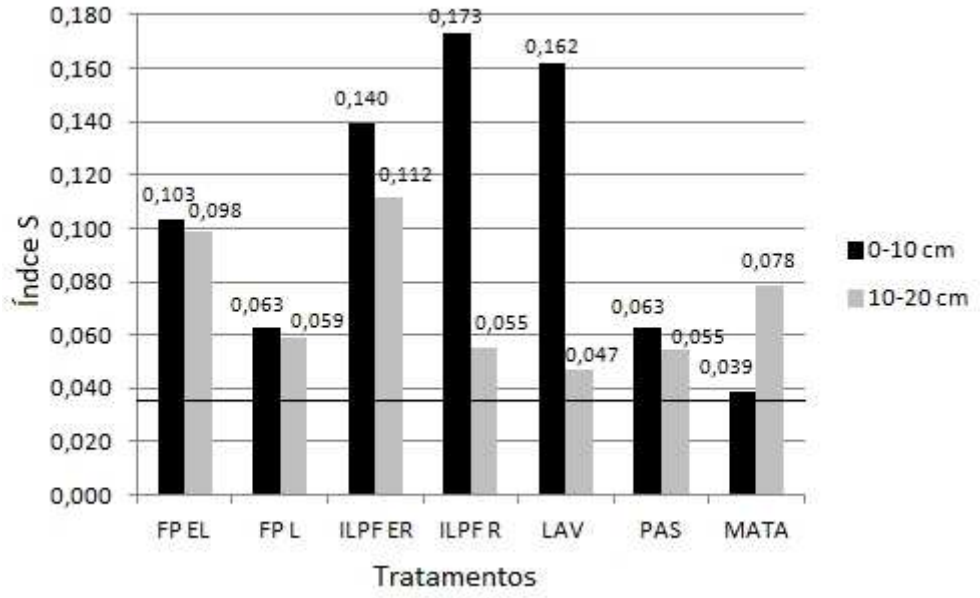


Figura 2 – Índice S em diferentes sistemas de cultivo e mata em Sinop – MT. FP EL: floresta plantada entre linha; FP L: floresta plantada linha; ILPF ER: integração lavoura pecuária floresta entre renque; ILPF: integração lavoura pecuária floresta renque; LAV: lavoura; PAS: pastagem; MATA: mata nativa.

Por sua vez, esses resultados são contrastantes com os verificados por Silva et al. (2008), que observaram em área de mata valor S superior aos obtidos em lavoura em plantio direto num Latossolo Vermelho distrófico. Marchão et al. (2007b) também observaram que nenhum dos valores de S obtidos foi menor que 0,035 em sistemas de integração, monocultivos e mata, e neste caso, o valor S da área de vegetação nativa foi superior aos demais sistemas avaliados.

Também na camada de 10-20 cm nenhum dos valores do parâmetro S foi inferior ao limite de 0,035 (Figura 2). Novamente verificou-se amplitude entre os valores S para os tratamentos floresta plantada linha e floresta plantada entrelinha, sendo considerado o mesmo motivo utilizado previamente para se explicar o encontrado. Nos tratamentos associados aos sistemas de integração, destaca-se a discrepância entre os índices S obtidos no renque e entre renque. Os menores índices S estiveram associados às áreas de lavoura e pastagem. A área de mata, por sua vez, apresentou um valor de índice S mais intermediário entre os tratamentos avaliados.

**Curva de distribuição de poros no solo**

Na interpretação da distribuição do diâmetro de poros, quanto maior for a inclinação da curva, maior a diversidade de diâmetro de poros (Ribeiro et al., 2007) e, consequentemente, melhor tende a ser a disponibilidade de água para as plantas, uma vez que o diâmetro do poro está diretamente relacionado à retenção de água no solo. Seria interessante também que a declividade fosse mais uniforme em toda curva, o que garantiria uma distribuição de poros menos desigual.

A curva de distribuição do diâmetro de poros dos sistemas avaliados (Figura 3) indicou que na camada de 0-10 cm, a área de pastagem foi a que apresentou maior inclinação, entretanto, sendo mais acentuada na região dos poros de diâmetro menor que 0,03 mm. Ainda na camada mais superficial, a segunda maior inclinação na curva de distribuição do diâmetro de poros foi verificada na área de lavoura, sendo que os demais tratamentos apresentaram inclinações semelhantes, à exceção do solo de mata, que teve a menor inclinação dentre todos os sistemas avaliados. Isso provavelmente ocorreu pelo fato de que grande parte dos poros no ambiente de vegetação nativa ter diâmetro superior a 0,08 mm (diâmetro

correspondente a tensão de 4 KPa), como já indicado na Figura 1. Os resultados referentes a inclinação da curva de distribuição de poros encontradas neste estudo divergem dos observados por Cunha et al. (2010), que encontraram maior inclinação na mata em relação à área de lavoura na camada de 0-10 cm.

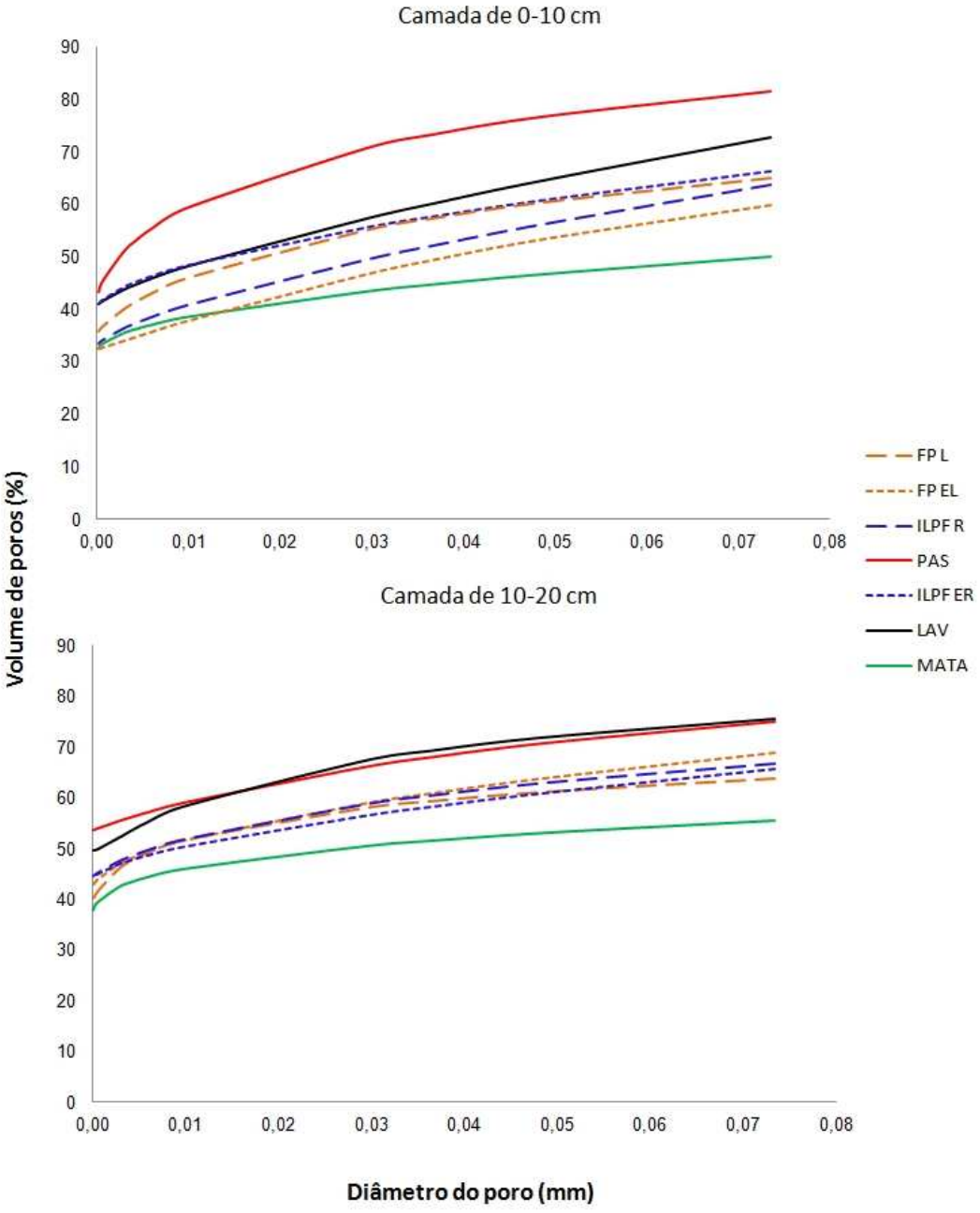


Figura 3 – Curva de distribuição do diâmetro de poros no solo em diferentes sistemas de cultivo e mata em Sinop – MT. FP EL: floresta plantada entre linha; FP L: floresta plantada linha; ILPF ER: integração lavoura pecuária floresta entre renque; ILPF R: integração lavoura pecuária floresta renque; LAV: lavoura; PAS: pastagem; MATA: mata nativa.

Na camada subsuperficial, de 10-20 cm de profundidade, todos os sistemas apresentaram curva de distribuição do diâmetro de poros semelhantes visualmente, com superioridade para o solo da lavoura (Figura 3). Entretanto, três grupos distintos com relação ao volume de poros podem ser observados no intervalo de diâmetro estudado. O primeiro composto por lavoura e pastagem, com maior volume de poros, o segundo formado por floresta plantada linha, floresta plantada entre linha, Integração renque e entre renque, com volume de poros intermediário e, o terceiro, constituído apenas pela mata, que aparentemente apresentou uma curva com menor inclinação dentre os sistemas.

Ao estudarem a camada de 10-20 cm de solos de lavoura em plantio direto e de mata quanto a distribuição do diâmetro de poros, Cunha et al. (2010) verificaram grande diferença entre os tratamentos, com melhoria na distribuição de poros no solo mata.

As curvas de distribuição do diâmetro de poros apresentadas neste estudo, assim como as curvas de retenção da água no solo, mostraram que o uso e manejo do solo podem beneficiar algumas características físicas, como a disponibilidade de água às plantas. O solo da mata apresentou maior volume de poros com diâmetro superior a 0,08 mm, que muito contribuem para a infiltração e drenagem da água no perfil, entretanto, esses poros não possuem a mesma eficiência quanto à retenção da água no solo. Nos sistemas de cultivo, principalmente na camada superior, a compactação e aumento da densidade do solo diminuíram o volume de poros maiores que 0,08 mm e aumentaram o volume de poros menores que esse diâmetro que são mais eficientes na retenção da água, principalmente na lavoura. Isso pode ser até considerado um ponto positivo, já que as culturas utilizadas nos tratamentos, à exceção da floresta plantada, não possuem sistema radicular profundo de forma que o maior intervalo de umidade entre a CC e o PMP pode ser fundamental para o seu desenvolvimento. Obviamente que, se a densidade do solo for muito alta, esse efeito pode não ser o mais adequado para o desenvolvimento vegetal.

Vale ressaltar que as curvas de distribuição do diâmetro de poros apresentadas na Figura 3 representam apenas a variabilidade de poros que houve entre os diâmetros 0,08 e 0,00002 mm que correspondem respectivamente as

tensões de 10 e 1500 kPa e que foram os limites utilizados para estimar a curva de retenção de água no solo neste trabalho. Portanto, variações nos diâmetros de poros acima de 0,08 mm, que podem alterar a inclinação das curvas não foram consideradas.

**Intervalo hídrico ótimo**

Na maioria dos tratamentos, à exceção de floresta plantada entre linha e pastagem, foi verificada pouca variabilidade nos valores de densidade do solo (Figura 4). Isso dificulta a estimativa dos valores do IHO, uma vez que todas as variáveis envolvidas na determinação são dependentes da densidade e umidade. De forma geral, os sistemas e a mata apresentaram valores de IHO relativamente baixos. Em todos os sistemas de cultivo avaliados, o limite superior do IHO foi defindio pela capacidade de campo, o que significa que as variações na densidade do solo verificadas não afetaram a porosidade de aeração a níveis limitantes ao desenvolvimento radicular. Isso também foi observado por Serafim et al. (2008) para as camadas superficiais de um Latossolo Vermelho distroférrico em Dourados, MS. O limite inferior do IHO foi estabelecido pela resistência à penetração para os tratamentos floresta plantada linha, ILPF entre renque e lavoura, indicando que o uso do solo alterou a qualidade física do solo nestes sistemas, pirncipalmente na área de lavoura, onde a RP praticamente anulou o IHO.

Nesses sistemas, antes de as plantas serem afetadas pela pouca umidade do solo no PMP, a resistência do solo à penetração das raízes já limita o desenvolvimento vegetal. A RP como limite inferior do IHO normalmente não predomina em grande parte dos trabalhos, mas foi, por exemplo, verificada por Calonego et al. (2011), Serafim et al. (2008) e Petean et al. (2010) em lavoura sob plantio direto e cultivos integrados.

O valor crítico adotado para a avaliação do efeito da resistência do solo à penetração (2 MPa) não é um consenso. Alguns autores consideram que esse valor pode ser ampliado em sistema de plantio direto, em razão da maior disponibilidade temporal de água associada com a cobertura do solo, especialmente se há formação de uma rede de bioporos contínuos, ativos e estáveis, que atuam como rotas alternativas ao sistema radicular das culturas (Petean et al., 2010).

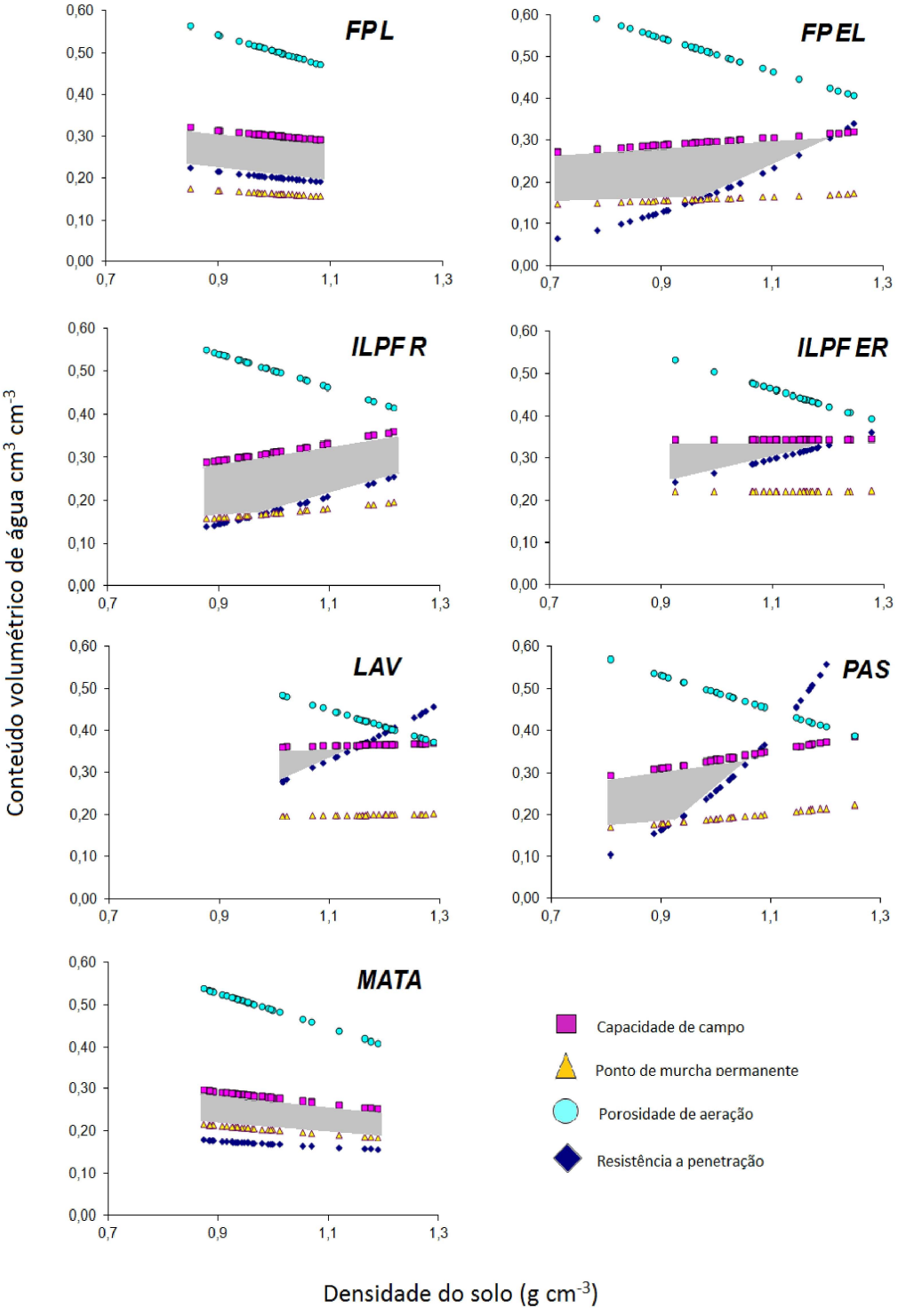


Figura 4 - Intervalo hídrico ótimo em diferentes sistemas de cultivo e mata na camada de 0-10 cm em Sinop – MT. FP EL: floresta plantada entre linha; FP L: floresta plantada linha; ILPF ER: integração lavoura pecuária floresta entre renque; ILPF: integração lavoura pecuária floresta renque; LAV: lavoura; PAS: pastagem; MATA: mata nativa.

Além disso, Carter et al. (1999) afirmam que em sistemas de semeadura direta os valores de RP podem atingir facilmente 2 MPa, e, consequentemente, haver reduções no IHO. Isso se agrava ainda mais em solos argilosos onde segundo Topp et al. (1994) é comum a ocorrência de valores muito baixos, ou até nulos, de IHO. Assim, a adoção de valor de 2 MPa como restritivo ao desenvolvimento radicular em áreas sob sistemas de cultivo conservacionistas parece ser um valor inadequado (Serafim et al., 2008). Segundo Tisdall & Oades (1982) e Pedrotti et al. (2001), a resistência real exercida pelo solo à penetração radicular é, geralmente, menor que a resistência medida pelo penetrômetro, pois as raízes procuram os caminhos de menor resistência durante o seu crescimento.

Nos tratamentos integração renque e floresta plantada linha, o limite inferior do IHO foi alterado com o aumento da densidade do solo. Ambos apresentaram a umidade no ponto de murcha permanente como limite inferior até aproximadamente a densidade de 1,0 g $cm^{-3}$, sendo que para densidades maiores foi a resistência a penetração que passou a ser o limitante. Algo semelhante também foi verificado por Petean et al. (2010), em solos de sistemas ILP, sendo que a mudança encontrada pelos autores foi próximo da densidade 1,12 g $cm^{-3}$. O solo da mata foi o único onde a resistência à penetração não ofereceu nenhuma limitação ao desenvolvimento das raízes em nenhum valor de densidade encontrado. A estrutura do solo nesse ambiente, com boa distribuição de macro e microporos, assim como os baixos valores de densidade, proporcionaram esse resultado. Resultados semelhantes foram observados por Araujo et al. (2004).

Considerando todos tratamentos avaliadas, destaca-se a pouca variação dos limites estabelecidos θPA, θCC e θPMP. Isso demonstra que a θRP foi o atributo mais influenciado pelo manejo e, como já indicado, definiu o limite inferior do IHO na maioria dos sistemas cultivados na camada de 0-10 cm de profundidade.

De 10 a 20 cm de profundidade o IHO foi similar ao verificado para a camada mais superficial em relação aos limites inferiores e superiores dentro do IHO (Figura 5). A θRP estabeleceu o limite inferior e a θCC o limite superior do IHO nos sistemas de cultivo avaliados. Na área de mata, a densidade de 1,05 g $cm^{-3}$ separou as regiões limitadas pela θPMP e pela θRP.

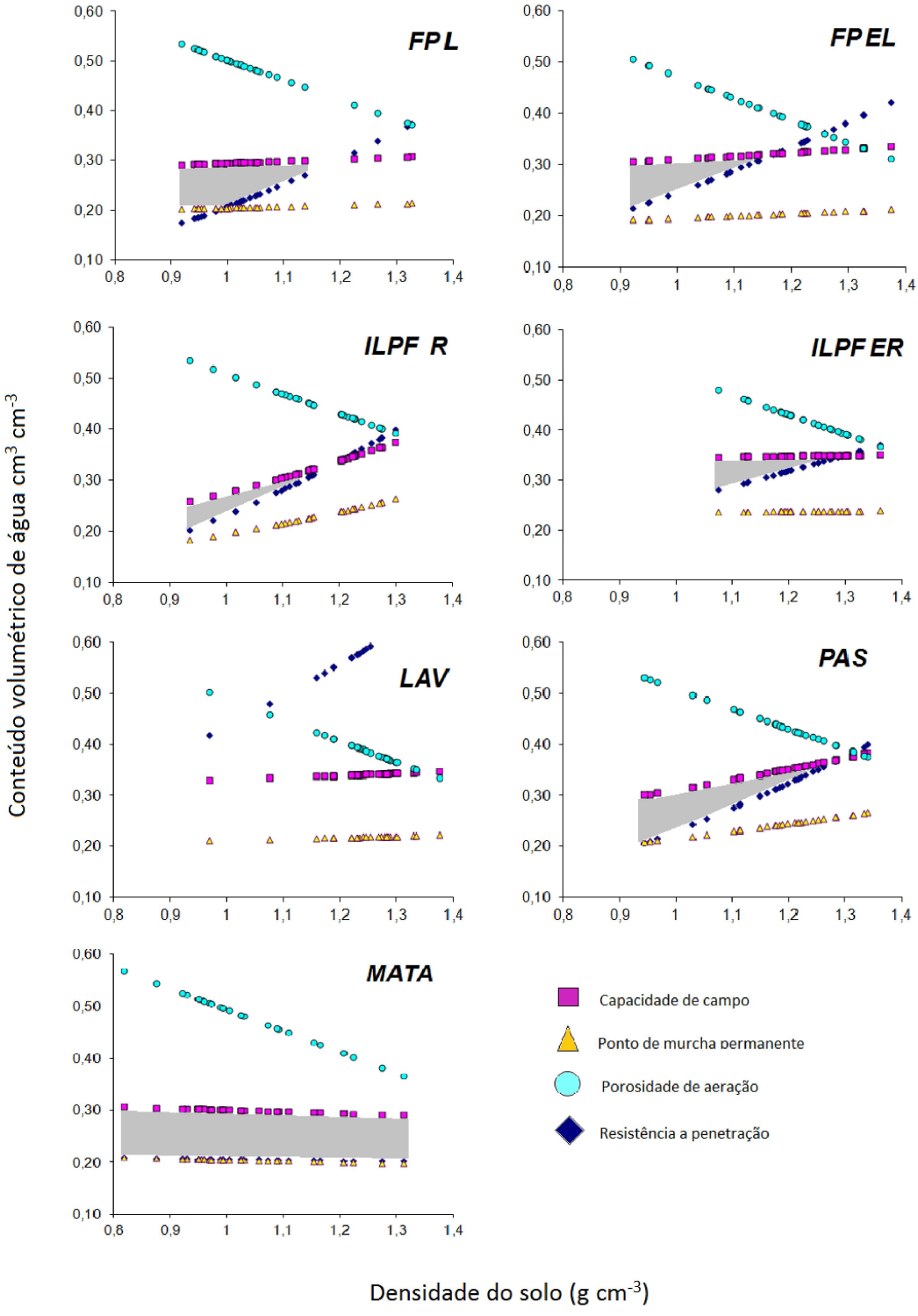


Figura 5 – Intervalo hídrico ótimo em diferentes sistemas de cultivo e mata na camada de 10-20 cm em Sinop – MT. FP EL: floresta plantada entre linha; FP L: floresta plantada linha; ILPF ER: integração lavoura pecuária floresta entre renque; ILPF: integração lavoura pecuária floresta renque; LAV: lavoura; PAS: pastagem; MATA: mata nativa.

Os tratamentos ILPF entre renque e lavoura apresentaram semelhantes IHO, com a θRP anulando o intervalo ótimo, provavelmente, pela presença da mesma cultura anual nos dois ambientes (Figura 5).

Todos os sistemas, à exceção da área de mata, apresentaram alta θRP em altos valores de umidade, porém com valores de densidade do solo relativamente baixos. Uma possibilidade para explicar isto é o efeito da elevada microporosidade e baixa macroporosidade encontrada nesses solos. Segundo Camargo e Alleoni (1997), os macroporos são muito importantes no desenvolvimento das raízes e oferecem baixa resistência à penetração, ao contrário dos microporos.

**CONCLUSÕES**

Após o primeiro ano, a implantação de sistemas produtivos pouco altera a estrutura do solo, sendo as alterações mais expressivas verificadas com a implantação da lavoura de cultura anual.

A resistência à penetração é o atributo de maior sensibilidade às alterações iniciais sofridas pelo solo, isso foi evidente na análise do intervalo hídrico ótimo em que o solo da lavoura, cujo solo sofreu uso mais intensivo, apresentou maior restrição neste atributo frente aos demais sistemas.

O uso de sistemas de integração lavoura, pecuária e floresta, bem como a floresta plantada, proporcionam solos com qualidade mais próxima das áreas de vegetação nativa.

**BIBLIOGRFIA**

ALBUQUERQUE, J.; SANGOI, L. & ENDER, M. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. Rev. Bras. Cienc. Solo, 25:717-723, 2001.

ANDRADE, R.D.S. & STONE, L.F. Índice S como indicador da qualidade física de solos do Cerrado brasileiro. Rev. Bras. Eng. Agríc. Amb., 13:382-388, 2009.

ARAÚJO, F.S.; SALVIANO, A.A.C.; LEITE, L.F.C.; SOUZA, Z.M. & SOUSA, A.C.M. Physical quality of a yellow latossol under integrated crop-livestock system. Rev. Bras. Cienc. Solo, 34:7, 2010.

ARAUJO, M.A.; TORMENA, C.A. & SILVA, A.P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. Rev. Bras. Cienc. Solo, 28:337-345, 2004.

BALBINO, L.C.; CORDEIRO, L.A.M.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; A.M.;, G.; MARTÍNEZ, B.; ALVARENGA, R.C.; KICHEL, A.N.; FONTANELI, R.S.; SANTOS, H.P.; FRANCHINI, J.C. & GALERANI, P.R. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. Pesqui. Agropecu. Bras., 46:1-12, 2011.

BAYER, C.; AMADO, T.J.C.; TORNQUIST, C.G.; CERRI, C.E.C.; DIECKOW, J.; ZANATTA, J.A. & NICOLOSO, R.D.S. Estabilização do carbono no solo e mitigação das emissões de gases de efeito estufa na agricultura conservacionista. Tópicos Ciênc. Solo, 7:55-118, 2011

BONO, J.A.M.; MACEDO, M.C.M. & TORMENA, C.A. Qualidade física do solo em um latossolo vermelho da região sudoeste dos Cerrados sob diferentes sistemas de uso e manejo. Rev. Bras. Cienc. Solo, 37:743-753, 2013.

BUSSCHER, W.J. Adjustment of flat-tipped penetrometer resistance data to a commom water content. Trans. Am. Soc. Agric. Eng., 33:519-524, 1990.

CALONEGO, J.C.; BORGHI, E. & CRUSCIOL, C.A.C. Intervalo hídrico ótimo e compactação do solo com cultivo consorciado de milho e braquiária. Rev. Bras. Cienc. Solo, 35:2183-2190, 2011.

CAMARGO, O.A. & ALLEONI, L.R.F. Compactação de solos e o desenvolvimento das plantas. 1.ed. Piracicaba, Esalq, 1997. 132p.

CUNHA, E.D.Q.; STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A.; FERREIRA, E.P.D.B. & DIDONET, A.D. Atributos físicos do solo sob diferentes preparos e coberturas influenciados pela distribuição de poros. Rev. Bras. Eng. Agríc. Amb., 14:1160-1169, 2010.

DEXTER, A.R. Soil physical quality: Part III: Unsaturated hydraulic conductivity and general conclusions about S-theory. Geoderma, 120:227-239, 2004.

DOURADO NETO, D.; JONG VAN LIER, Q.; BOTREL, T.A. & LIBARDI, P.L. Programa para confecção da curva de retenção de água no solo utilizando o modelo de Genuchten. Eng. Rural, 1:92-102, 1990.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROÉCUÁRIA – EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, Embrapa Solos. 2011. 230p.

FERRI, M.G. Ecologia dos Cerrados. In: FERRI, M.G., coord. SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, BASES PARA UTILIZAÇÃO AGROPECUÁRIA, 4. São Paulo, 1977. Anais...São Paulo, Itatiaia, 1977. p.15-33.

GRABLE, A.R. & SIEMER, E.G. Effects of bulk density, aggregate size, and soil water suction on oxygen diffusion, redox potential and elongation of corn roots. Soil Sci. Soc. Am. J., 32:180-186, 1968.

HAISE, H.R.; HAAS, H.J. & JENSEN, L.R. Soil moisture studies of some great plains soils. II. Field capacity as related to 1/3-atmosphere percentage, and minimum point as related to 15- and 26-atmosphere percentage. Soil Sci. Soc. Am. Pro., 19:20-25, 1995.

JAKELAITIS, A.; SILVA, A.A.; SANTOS, J.B. & VIVIAN, R. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. Pesq. Agr. Trop., 38:118-127, 2008.

KLEIN, V.A. & LIBARDI, P.L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um latossolo vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. Rev. Bras. Cienc. Solo, 26: 857-867, 2002.

KLUTE, A. Water Retention: laboratory methods. In BLACK, C.A. (ed.) Methods of Soil Analysis. I. Physycal and mineralogical methods. Am. Soc. Agronomy, Soil Sci. Soc. Am., 1:635-662,1986.

LEÃO, T.P. & SILVA, A.P. A simmplified excel algarithm for estimating the least limiting water range of soils. Sci. Agric., 61:649-654, 2004.

LETEY, J. Relationship between Soil Physical Properties and Crop Production. In: STEWART, B.A., ed. Advances in Soil Science. New York, Springer, 1985. p.277-294.

MACHADO, J.L.; TORMENA, C.A.; FIDALSKI, J. & SCAPIM, C.A. Inter-relações entre as propriedades físicas e os coeficientes da curva de retenção de água de um latossolo sob diferentes sistemas de uso. Rev. Bras. Ciêc. Solo, 32:495-502, 2008.

MARCHÃO, R.L.; BALBINO, L.C.; SILVA, E.M.D.; SANTOS JUNIOR, J.D.D.G.D.; SÁ, M.A.C.D.; VILELA, L. & BECQUER, T. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. Pesqui. Agropecu. Bras., 42:873-882, 2007a.

MARCHÃO, R.L.; SANTOS JUNIOR, J.D.D.G.D.; SILVA, E.M.D.; SÁ, M.A.C.D.; BALBINO, L.C.; VILELA, L. & BECQUER, T. Parâmetro "S" e intervalo hídrico ótimo em Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. 31., 2007. Anais. Gramado, Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2007b.CD-ROM.

MOREIRA, W.H.; JUNIOR, E.B.; PETEAN, L.P.; TORMENA, C.A.; ALVES, S.J.; COSTA, M.A.T. & FRANCO, H.H.S. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho Distroférrico em sistema de integração lavoura-pecuária. Rev. Bras. Ciêc. Solo, 36:389-400, 2012.

NEVES, C.M.N.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; CARDOSO, E.L.R.; MACEDO, L.G.; FERREIRA, M.M. & SOUZA, F.S. Atributos indicadores da qualidade do solo em sistema agrossilvopastoril no noroeste do estado de Minas Gerais. Sci. For., 1:45-53, 2007.

PEDROTTI, A.; PAULETTO, E.A.; CRESTANA, S.; FERREIRA, M.M.; DIAS, M.S.; GOMES, A.S. & TURATTI, A.L. Resistência mecânica à penetração de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. Rev. Bras. Ciên. Solo, 25:521-529, 2001.

PETEAN, L.P.; TORMENA, C.A. & ALVES, S.J. Intervalo hídrico ótimo de um latossolo vermelho distroférrico sob plantio direto em sistema de integração lavoura-pecuária. Rev. Bras. Ciên. Solo, 34:1515-1526, 2010.

PIVA, J.T.; HUBNER, L.C.; DIECKOW, J.; FAVARETTO, N. & PAULETTI, V. Atributos físicos de um latossolo em sistemas de preparo e integração lavoura-pecuária. Syner. Scyent. 4:11-13, 2009.

REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; VEIGA, M. & SUZUKI, L.E.A.S. Qualidade física dos solos. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA. 16., 2006. Anais. Aracajú, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. CD-ROM.

RIBEIRO, K.D.; MENEZES, S.M.; MESQUITA, M.D.G.B.D.F. & SAMPAIO, F.D.M.T. Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras-MG. Ciênc. Agrotec., 31:1167-1175, 2007.

RICHARDS, L.A. & WEAVER, L.R. Fifteen atmosphere percentage as related to the permanent wilting point. Soil Sci., 56:331-339, 1944.

RUIZ, H.A. Dispersão física do solo para análise granulométrica por agitação lenta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO.30., 2005. Anais. Recife, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. CD-ROM.

SANTOS, G.G.; MARCHÃO, R.L.; DA SILVA, E.M.; DA SILVEIRA, P.M. & BECQUER, T. Qualidade física do solo sob sistemas de integração lavoura-pecuária. Pesqui. Agropec. Bras., 46:1339-1348, 2011.

SCHIAVO, J.A. & COLODRO, G. Agregação e resistência à penetração de um Latossolo Vermelho sob sistema de integração lavoura-pecuária. Bragantia, 71:406-412, 2012.

SEMA – MT, Secretaria de Estado Meio Ambiente – Mato Grosso. Caractrísticas do Mato Grosso. Disponível em: http://www.sema.mt.gov.br/. Acesso: 30/03/2014.

SERAFIM, M.E.; VITORINO, A.C.T.; PEIXOTO, P.P.P.; SOUZA, C.M.A. & CARVALHO, D.F.D. Intervalo hídrico ótimo em um latossolo vermelho distroférrico sob diferentes sistemas de produção. Eng. Agric. 28:654-665, 2008.

SILVA, F.D.F.; DA SILVA FREDDI, O.; CENTURION, J.F.; ARATANI, R.G.; ANDRIOLI, F.F. & ANDRIOLI, I. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho cultivado no sistema plantio direto. Irriga, 13:14, 2008.

SOUZA, E.D.; COSTA, S.E.V.G.A.; ANGHINONI, I.; LIMA, C.V.S.; CARVALHO, P.C.F. & MARTINS, A.P. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. Rev. Bras. Ciên. Solo, 34:79-88, 2010.

SPERA, S.T.; SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S. & TOMM, G.O. Atributos físicos de um Hapludox em função de sistemas de produção integração lavoura-pecuária (ILP), sob plantio direto. Acta Sci-Agron., 32:37-44, 2010.

TAYLOR, H.M.; ROBERSON, G.M. & PARKER JR., J.J. Soil strength-root penetration relations to medium to coarse-textured soil materials. Soil Sci., 1:18-22, 1966.

TISDALL, J.M. & OADES, J.M. Organic matter and waterstable aggregates in soils. J. Soil Sci., 33:141-163, 1982.

TOPP, G.C.; GALGANOV,Y.T.; WIRES, K.C. & CULLEY, J.L.B. Non limiting water range (NLWR): an approach for assessing soil structure. Soil Quality Evaluation Program. Agriculture and Agri-Food Canada, 1994. 36p. (Technical report, 2)

TOPP, G.C. & ZEBCHUKY, W. The determination of soil water desorption curves for soil cores. Can. J. Soil Sci., Rev. Bras. Ciên. Solo, 59:19-26, 1979.

TORNEMA, C.A.S., A.P.; LIBARDI, P.L. . Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. Rev. Bras. Ciên. Solo, 22:573-581, 1998.

VAN GENUCHTEN, M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 44:892-898, 1980.

WENDLING, B.; VINHAL-FREITAS, I.C.; OLIVEIRA, R.C.; BABATA, M.M. & BORGES, E.N. Densidade, agregação e porosidade do solo em áreas de conversão do Cerrado em floresta de pinus, pastagem e plantio direto. Biosc. J., 28:256-265, 2012.

YEOMANS, J.C. & BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of carbon in soil. Pl. Anal. 19:1467-1476, 1988.

**CAPÍTULO 2**

# SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA, PECUÁRIA E FLORESTA E OUTRAS PROPOSTAS DE MANEJO DO SOLO NA AMAZÔNIA: AVALIAÇÃO DA QUALIDADE QUÍMICA DO SOLO

**RESUMO**

Os sistemas de integração lavoura, pecuária e floresta têm sido utilizados no Brasil como alternativa de aumento em produtividade, com intensificação do uso do solo. O objetivo deste estudo foi avaliar o os atributos químicos do solo num sistema de integração lavoura, pecuária e floresta em comparação com outros sistemas de cultivo. O trabalho foi realizado em um sistema de integração lavoura, pecuária e floresta (ILPF) e em outras propostas de uso e manejo do solo com cultivos solteiros implantados na área experimental da Embrapa Agrossilvipastoril, localizada no município de Sinop, norte do estado do Mato Grosso numa região de transição Cerrado/Floresta Amazônica. Os tratamentos consistiram de cinco sistemas de uso do solo: floresta plantada, sistema de integração lavoura, pecuária e floresta, lavoura, pastagem e mata nativa como testemunha. Os atributos químicos de solo foram avaliados em quatro camadas, 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm de profundidade. Na primeira avaliação, com um ano de instalação, as variações nos atributos químicos de solo nos sistemas de cultivo refletiram as adubações. Os teores de nutrientes foram superiores nos sistemas com maior entrada de nutrientes. Não houve grande variabilidade nos teores Ca e Mg entre os sistemas cultivado. A mata apresentou os piores valores do ponto de vista da fertilidade do solo entre todos os sistemas com exceção dos estoques de carbono orgânico e capacidade de troca catiônica. Houve redução dos teores de nutrientes e estoque de carbono orgânico em profundidade.

**Termos de indexação:** qualidade do solo, fertilidade, agrossilvipastoril.

## INTRODUÇÃO

Sistemas de integração vêm sendo cada vez mais utilizados no Brasil como uma nova e eficiente proposta na agricultura que almeja diversificar a produção, obter boas produtividades aliado à preservação e conservação ambiental (Romano, 2010). Tais sistemas são caracterizados pela presença no tempo e, ou, no espaço de diferentes espécies agrícolas, com a inserção de componentes das atividades pecuária e florestal. A interação entre estes componentes tem sido estudada tanto considerando um modelo agrícola, como também um modelo de recuperação e preservação dos recursos naturais (Barcellos et al., 2011).

A integração lavoura, pecuária e floresta pode oferecer uma série de vantagens em relação aos sistemas não integrados, como a melhoria na utilização de nutrientes, maior aproveitamento da água, maior segurança e geração de renda ao produtor, diminuição da pressão sobre o desmatamento, dentre outras (Alvarenga et al., 2012).

Por conter diferentes espécies vegetais em associação com a presença de animais, esses sistemas têm apresentado comportamento diferenciado em relação ao monocultivo quanto aos aspectos químicos do solo. A presença de diferentes sistemas radiculares alteram a dinâmica de exploração das raízes no solo, aumentando-se a capacidade de acessar nutrientes em camadas mais profundas e, além disso, os resíduos deixados na área, principalmente pelos animais, aceleram a ciclagem de nutrientes, tornando-os disponíveis às culturas subsequentes (Balbinot Junior et al., 2009).

A Amazônia brasileira tem suscitado várias discussões, inclusive em fóruns internacionais, quanto ao modelo de desenvolvimento que deve ser seguido na região, bem como com relação à importância da preservação e conservação desse importante bioma. Neste sentido, a busca de alternativas de uso e manejo do solo que possam estar mais em harmonia tem sido incentivada. Nesse cenário, a possibilidade de uso de sistemas de integração são alternativas interessantes que garantem a exploração econômica e, ao mesmo tempo, permite a presença de componentes florestais.

Diante do exposto, o objetivo do presente estudo foi avaliar os teores de nutrientes e estoque de carbono do solo em um sistema de integração lavoura,

pecuária, floresta e em outros sistemas de cultivo recentemente implantados em Sinop, MT.

**MATERIAL E MÉTODOS**

O trabalho foi realizado em um sistema de integração lavoura, pecuária e floresta (ILPF) e em outros modelos de uso e manejo do solo com cultivos solteiros implantados na área experimental da Embrapa Agrossilvipastoril, localizada no município de Sinop, na região norte do estado de Mato Grosso numa área com bioma caracterizado como Cerradão (Ferri, 1977). O ponto central da área experimental encontra-se nas coordenadas 11º50'53" S e 55°38'57" W. A região possui clima equatorial, com três meses de seca e precipitação anual de 2.000 a 2.500 mm. A temperatura média anual é de 24 $^{o}$C, com máximas em torno dos 40 $^{o}$C e mínimas próximas de 20 $^{o}$C. A altitude é de 380 m (SEMA – MT, 2014), com relevo plano e predomínio do Latossolo Vermelho-Amarelo argiloso.

Todos os tratamentos foram implantados em outubro de 2011, com o estabelecimento dos respectivos sistemas de produção: I) FP – floresta plantada: cultivo de eucalipto (*Eucaliptus urograndis* clone H13) em espaçamento 3 x 3 metros plantados em sulcos de 30 cm de profundidade; II) ILPF – sistema de integração lavoura, pecuária e floresta: eucalipto (*Eucaliptus urograndis* clone H13) dispostos em renques de linhas triplas espaçadas 30 m com espaçamento 3 x 3 metros no renque, com cultivo anual em plantio direto de soja no verão (*Glycine max* (L.) Merr. variedade BRS Favorita no primeiro ano e BRSGO 8560 RR no segundo ano) 40 kg ha$^{-1}$ e milho safrinha, (*Zea mays*) variedade DKB 175 no primeiro e segundo ano densidade de plantio 50 kg ha$^{-1}$ + pastagem (*Brachiaria brizantha Hochst. Stapf.)* cultivar Marandú nas entrelinhas das árvores, densidade de plantio de 5,5 kg ha$^{-1}$ com estabelecimento da pastagem de inverno após a colheita do milho ; III) LAV – lavoura: sistema de plantio direto com soja no verão (*Glycine max* L.) Merr. variedade BRS Favorita no primeiro ano e BRSGO 8560 RR no segundo ano com 40 kg ha$^{-1}$ de semente no plantio, com posterior plantio de milho safrinha (*Zea mays*) variedade DKB 175 nos dois anos densidade de plantio 50 kg ha$^{-1}$ IV) PAS – pastagem: sistema de plantio direto de forrageira em área total (*Brachiaria brizantha Hochst. Stapf.*) cultivar Marandú densidade de plantio de 5,5 kg ha$^{-1}$ sem

pastoreio e V) MATA – floresta nativa: área tomada como referência composta pelo bioma caracterizado como Cerradão (Tabela 1).

O delineamento experimental adotado foi em blocos ao acaso, com quatro repetições. Cada unidade experimental possuía 2 hectares de área. A área na qual o experimento foi instalado foi utilizada por mais de 30 anos para a produção de soja, milho e algodão e apresentava a seguinte caracterização química nos primeiros 20 cm de profundidade: pH em $H_2O$ = 5,70, $Al^{3+}$ = 0,00 $cmol_c$ $dm^{-3}$, H+Al = 3,80 $cmol_c$ $dm^{-3}$, $Ca^{2+}$ = 2,60 $cmol_c$ $dm^{-3}$, $Mg^{2+}$ = 0,60 $cmol_c$ $dm^{-3}$, CTC (T) = 6,50 $cmol_c$ $dm^{-3}$, SB = 2,70 $cmol_c$ $dm^{-3}$, P = 14,4 mg $dm^{-3}$, K = 57 mg $dm^{-3}$, C-org = 3,60 dag $dm^{-3}$ e V = 41,5 %. Antes da instalação do experimento, à exceção do tratamento MATA, a área recebeu correção, com aplicação de calcário, além disso, foi realizada uma gradagem em área total e posteriormente não houve revolvimento do solo.

Tabela 1 - Sistemas de produção envolvendo culturas de grãos, pastagem, floresta plantada e integração lavoura, pecuária e floresta em Sinop, MG.

| Sistema de Produção | Ano | |
|---|---|---|
| | 2011/2012 | 2012/2013 |
| FP | Floresta plantada | Floresta Plantada |
| ILPF | Sistema ILPF | Sistema ILPF |
| LAV | Soja+milho | Soja+milho |
| PAS | Pastagem | Pastagem |
| MATA | Floresta Nativa | Floresta Nativa |

As doses de adubações aplicadas na floresta plantada, lavoura e pastagem seguiram recomendação de Andrade (2004), Sousa & Lobato (2004a) e Vilela et al. (2004a), respectivamente, todos inclusos no manual “Cerrado: correção do solo e adubação”. Devido à falta de uma proposta de adubação específica, o sistema de integração recebeu adubações conforme as culturas cultivadas.

As parcelas com floresta plantada receberam em outubro de 2011, 63,00 kg $ha^{-1}$ de $P_2O_5$ no plantio do eucalipto e 20 kg $ha^{-1}$ de N e $K_2O$ em cobertura não sendo posteriormente realizada nenhuma adubação neste tratamento. No tratamento lavoura, em outubro de 2011, as parcelas receberam 80 kg $ha^{-1}$ de $P_2O_5$ e $K_2O$ para o plantio da soja, em março de 2012 foram adicionados 30,40; 106,40 e 60,80 kg $ha^{-1}$ de N, $P_2O_5$ e $K_2O$ respectivamente e em cobertura 45 kg $ha^{-1}$ de N, para plantio do

milho em sucessão a soja. Em outubro de 2012 foram adicionados neste tratamento 70 kg $ha^{-1}$ de $P_2O_5$ e $K_2O$ para a segunda safra da soja. A pastagem recebeu 15,20; 114,00 e 60,08 kg $ha^{-1}$ de N, $P_2O_5$ e $K_2O$ para o plantio da braquiária e não recebeu adubações adicionais posteriormente. Nas parcelas com integração lavoura, pecuária e floresta as culturas e adubações foram as mesmas utilizadas nos cultivos solteiros com exceção da pastagem que se desenvolveu após a colheita do milho safrinha e aproveitou os resíduos das adubações realizadas nesta cultura.

Para a realização das análises químicas, uma amostra composta por 25 amostras simples foi obtida com auxílio de um trado sonda, nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm de profundidade em cada unidade experimental totalizando quatro amostras por tratamento. As amostras de solo foram secas ao ar, passadas em peneiras (malha de 2 mm) e submetidas às seguintes análises no laboratório de análise de solos do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa (Defelipo & Ribeiro, 1997): pH em água (1:2,5); $Ca^{2+}$, $Mg^{2+}$ e $Al^{3+}$ trocáveis, extraídos com solução de KCl 1 mol $L^{-1}$ e determinados por espectrofotometria de absorção atômica; acidez potencial (H+Al) extraída com acetato de cálcio a pH 7,0; K disponível extraído com solução ácida (Mehlich-1) e determinado por espectrofotometria de chama. A matéria orgânica (MO) foi obtida pelo teor de carbono orgânico total que foi determinado segundo Yeomans & Bremner (1988).

O P foi extraído com solução ácida (Mehlich-1) e quantificado segundo Murphy & Riley (1962). Como indicativo do tamponamento do solo foi avaliado o P remanescente, determinado conforme Alvarez V. et al. (2000). Com os resultados das análises químicas foram calculados os valores de soma de bases trocáveis (SB), capacidade de troca catiônica efetiva (t) e total a pH 7,0 (T), saturação de bases (V) e saturação por $Al^{3+}$ (m).

O estoque de carbono nos diferentes tratamentos foi calculado para as camadas amostradas (0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm de profundidade), expresso em kg $ha^{-1}$ e estimado considerando os teores obtidos nas análises químicas de rotina e o volume representado por cada camada realizando-se a correção dos valores em função da densidade obtida no ambiente tomado como referência. O estoque de carbono também foi calculado de forma acumulada para as camadas de 0-10, 0-20

e 0-30 cm, sendo a contribuição relativa de cada uma dessas camadas no estoque total também avaliada.

Para a análise estatística os sistemas de produção e a mata constituíram os tratamentos, sendo os dados obtidos submetidos à análise de variância (ANOVA), seguida do teste Tukey a 5 % de probabilidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Teores de nutrientes no solo

Como esperado, a área de mata contrastou com as áreas antropizadas quando os atributos químicos do solo foram analisados (Tabela 2). Essa diferença, consequência natural dos inputs de corretivos e nutrientes foi maior próximo da superfície, reduzindo-se com o aumento da profundidade. O P-rem foi a única variável química do solo que não apresentou diferenças entre a área de vegetação nativa e os sistemas de produção. É um atributo que se correlaciona bastante com as características mineralógicas e texturais do solo sendo dificilmente alterada pelo manejo em curto prazo (Novais & Smith, 1999). A fertilidade do solo no ambiente natural foi menor do que nos sistemas de cultivo, à exceção dos teores de MO e CTC total, o que é coerente com o maior acúmulo de matéria orgânica na mata.

A redução dos teores de matéria orgânica nas áreas cultivadas em relação ao ambiente mata é esperada. De acordo com Bayer et al. (2011), as duas principais práticas agrícolas que impactam os estoques de C do solo são o seu preparo e o sistema de cultivo propriamente dito. A perda na CTC dos solos com a remoção da vegetação nativa é explicada pelo fato de a matéria orgânica do solo poder contribuir com 20 a 90% da CTC de solos minerais, no caso dos solos tropicais, com cargas predominantemente variáveis e dependentes do pH, e fração argila composta principalmente por caulinita e óxidos de Fe e Al, a contribuição do componente orgânico na CTC é maior (Silva & Mendonça, 2007). Neste sentido, sistemas que proporcionem a manutenção ou aumento da matéria orgânica dos solos, como a integração agricultura e pecuária, o preparo mínimo, ou o plantio direto, também favorecem a ação dos corretivos de acidez e dos nutrientes aplicados ao solo (Sousa & Lobato, 2004b).

Condições químicas mais desfavoráveis em solos de mata em comparação com os de áreas cultivadas são comuns em diversos estudos. Da mesma forma que no presente estudo, Carneiro (2010) verificou níveis de fertilidade inferiores em solo de floresta natural, em comparação com solos oriundos de floresta plantada de pinus e lavoura de milho em plantio direto, porém maiores teores matéria orgânica e CTC no ambiente natural. A melhoria na qualidade química de solos com sua incorporação ao processo produtivo em região de Cerrado também foi verificada por Carneiro et al. (2009), que avaliaram áreas de lavoura sob plantio direto e pastagem, e por Matias (2006), em cultivo de soja em plantio direto. Por outro lado, Silva et al. (2009) e Santos et al. (2009), verificaram similaridade entre a fertilidade do solo de Cerrado e de áreas com floresta de eucalipto e sistemas ILP para diversos atributos químicos.

Todos os sistemas de cultivo avaliados apresentaram valores de pH agronomicamente adequados até 10 cm de profundidade, de acordo com Sousa & Lobato (2004b), à exceção da mata, o que é esperado num solo com altos teores de matéria orgânica. Na camada de 10-20 cm, apenas no tratamento integração lavoura pecuária e floresta, a condição adequada para o pH foi alcançada e, na profundidade de 20-30 cm, todos os tratamentos apresentaram pH baixo.

Como produto das fertilizações efetuadas, os teores de P ficaram acima dos considerados como adequados por Sousa et al. (2004) para este tipo de solo em todos os tratamentos com cultivo e nas duas camadas superiores avaliadas, à exceção da camada de 5-10 cm nas áreas floresta plantada e pastagem. Na subsuperfície correspondendo às camadas de 10-20 e 20-30 cm, todos os sistemas apresentaram teores baixos deste nutriente. Situação semelhante foi verificada para o K em todos os sistemas de cultivo e nas duas camadas superiores, considerando o recomendado por Vilela et al. (2004b), à exceção foi a pastagem na camada de 5-10 cm. Os tratamentos floresta plantada e pastagem apresentaram teores inferiores aos considerados adequados nas camadas de 10-20 e 20-30 cm, ao passo que na integração lavoura, pecuária e floresta e lavoura os teores foram superiores aos ideais na camada de 10-20 cm, e adequados na camada de 20-30 cm.

Tabela 2 – Características químicas do solo das áreas avaliadas de mata e de sistemas de cultivo implantados em Sinop, MT

| TRAT | pH | P | $K^+$ | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $Al^{3+}$ | H+Al | SB | CTC (t) | CTC (T) | V | m | MO | P-rem |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $H_2O$ | mg $dm^{-3}$ | | $cmol_c$ $dm^{-3}$ | | | | | | | % | | dag $kg^{-1}$ | mg $L^{-1}$ |
| 0-5 cm | | | | | | | | | | | | | | |
| FP | 5,70 a | 6,20 bc | 77,25 bc | 1,91 ab | 0,79 a | 0,13 b | 5,10 b | 2,89 a | 3,02 ab | 7,99 b | 36,08 a | 4,40 b | 4,88 b | 22,53 |
| ILPF | 5,77 a | 18,58 ab | 106,25 ab | 1,92 ab | 0,68 a | 0,15 b | 5,25 b | 2,87 a | 3,01 ab | 8,12 b | 35,33 a | 4,75 b | 5,17 b | 23,95 |
| LAV | 5,70 a | 28,50 a | 154,00 a | 1,99 a | 0,67a | 0,10 b | 5,53 b | 3,05 a | 3,15 a | 8,58 b | 35,40 a | 3,50 b | 5,25 b | 24,00 |
| PAS | 5,58 a | 8,80 bc | 45,00 bc | 1,34 b | 0,66 a | 0,25 b | 5,48 b | 2,12 a | 2,36 bc | 7,59 b | 27,78 a | 10,73 b | 5,52 b | 23,60 |
| MATA | 4,82 b | 1,40 c | 33,25 c | 0,68 c | 0,29 b | 1,12 a | 11,08 a | 1,05 b | 2,24 c | 12,12 a | 8,98 b | 53,15 a | 9,66 a | 19,90 |
| MÉDIA | 5,51 | 12,70 | 83,15 | 1,57 | 0,62 | 0,36 | 6,49 | 2,40 | 2,76 | 8,88 | 28,71 | 15,31 | 6,09 | 22,80 |
| CV(%) | 7,24 | 91,76 | 64,28 | 36,45 | 32,60 | 126,35 | 38,27 | 35,79 | 18,48 | 20,82 | 38,81 | 135,46 | 32,55 | 12,68 |
| 5-10 cm | | | | | | | | | | | | | | |
| FP | 5,46 a | 4,55 bc | 42,25 bc | 1,31 a | 0,47 a | 0,20 b | 5,15 b | 1,88 a | 2,08 | 7,03 b | 26,65 a | 10,05 b | 4,29 b | 20,28 |
| ILPF | 5,64 a | 12,50 a | 72, 00 a | 1,40 a | 0,39 ab | 0,30 b | 5,58 b | 1,97 a | 2,27 | 7,55 b | 26,18 a | 13,13 b | 4,29 b | 21,73 |
| LAV | 5,41 ab | 10,38 a | 85,50 a | 1,43 a | 0,40 a | 0,20 b | 5,60 b | 2,04 a | 2,24 | 7,64 b | 26,38 a | 9,90 b | 4,43 b | 21,73 |
| PAS | 5,42 ab | 5,05 bc | 20,25 c | 1,03 ab | 0,33 ab | 0,29 b | 5,15 b | 1,41 ab | 1,71 | 6,56 b | 21,45 a | 17,83 b | 4,23 b | 21,13 |
| MATA | 4,91 b | 1,35 c | 28,75 c | 0,37 b | 0,18 b | 1,10 a | 9,45 a | 0,62 b | 1,71 | 10,07 a | 6,30 b | 63,65 a | 6,33 a | 19,83 |
| MÉDIA | 5,37 | 6,77 | 49,75 | 1,11 | 0,35 | 0,42 | 6,19 | 1,58 | 2,00 | 7,77 | 21,39 | 22,91 | 4,71 | 20,94 |
| CV(%) | 6,12 | 73,40 | 62,79 | 44,38 | 36,12 | 91,52 | 28,91 | 41,93 | 20,50 | 17,65 | 42,39 | 98,30 | 19,43 | 7,60 |

Continua...

continuação.

| TRAT | pH | P | $K^+$ | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $Al^{3+}$ | H+Al | SB | CTC (t) | CTC (T) | V | m | MO | P-rem |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $H_2O$ | mg $dm^{-3}$ | | $cmol_c$ $dm^{-3}$ | | | | | | | % | | dag $kg^{-1}$ | mg $L^{-1}$ |
| 10-20 cm | | | | | | | | | | | | | | |
| FP | 5,22 a | 1,75 ab | 20,75 b | 0,76 ab | 0,26 | 0,27 b | 4,58 b | 1,06 ab | 1,33 | 5,64 b | 18,68 a | 21,30 b | 2,87 b | 19,63 |
| ILPF | 5,46 a | 3,18 a | 42,75 a | 0,93 a | 0,27 | 0,39 b | 4,95 b | 1,31 a | 1,70 | 6,26 ab | 21,05 a | 23,40 b | 3,17 b | 19,28 |
| LAV | 5,13 ab | 3,05 a | 46,25 a | 0,80 a | 0,25 | 0,37 b | 4,85 b | 1,17 a | 1,53 | 6,02 ab | 19,00 a | 26,33 b | 3,20 b | 20,45 |
| PAS | 5,27 a | 2,18 ab | 8,00 b | 0,64 ab | 0,23 | 0,42 b | 4,73 b | 0,89 ab | 1,30 | 5,61 b | 15,63 ab | 33,18 b | 3,36 b | 20,85 |
| MATA | 4,70 b | 0,80 b | 21,75 b | 0,22 b | 0,12 | 0,98 a | 7,13 a | 0,40 b | 1,38 | 7,53 a | 5,50 b | 70,08 a | 4,56 a | 18,85 |
| MÉDIA | 5,16 | 2,19 | 27,90 | 0,67 | 0,23 | 0,48 | 5,25 | 0,97 | 1,45 | 6,21 | 15,97 | 34,86 | 3,43 | 19,81 |
| CV(%) | 6,32 | 51,27 | 61,97 | 52,15 | 36,61 | 58,16 | 21,16 | 46,86 | 22,82 | 14,69 | 45,25 | 58,16 | 20,76 | 7,40 |
| 20-30 cm | | | | | | | | | | | | | | |
| FP | 5,02 | 1,83 ab | 18,00 ab | 0,49 | 0,17 | 0,34 | 4,45 b | 0,70 | 1,05 | 5,15 ab | 13,30 | 36,95 | 2,52 b | 19,83 |
| ILPF | 5,19 | 2,18 a | 30,50 a | 0,56 | 0,19 | 0,42 | 4,70 b | 0,83 | 1,25 | 5,53 ab | 15,18 | 33,10 | 2,72 b | 18,25 |
| LAV | 4,97 | 1,63 ab | 31,50 a | 0,47 | 0,19 | 0,39 | 4,45 b | 0,73 | 1,13 | 5,18 ab | 14,20 | 37,40 | 2,58 b | 19,88 |
| PAS | 4,93 | 1,25 ab | 6,00 b | 0,23 | 0,12 | 0,49 | 4,45 b | 0,37 | 0,85 | 4,82 b | 7,43 | 57,93 | 2,42 b | 18,13 |
| MATA | 4,78 | 0,48 b | 17,75 ab | 0,18 | 0,10 | 0,76 | 6,05 a | 0,33 | 1,09 | 6,38 a | 5,33 | 67,40 | 3,59 a | 18,03 |
| MÉDIA | 4,98 | 1,47 | 20,75 | 0,39 | 0,15 | 0,48 | 4,82 | 0,59 | 1,07 | 5,41 | 11,09 | 46,56 | 2,77 | 18,82 |
| CV(%) | 4,47 | 64,65 | 60,82 | 62,21 | 44,18 | 49,41 | 16,55 | 54,55 | 21,98 | 13,15 | 54,61 | 44,07 | 18,34 | 9,52 |

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. FP – floresta plantada; ILPF – integração lavoura pecuária floresta; LAV – lavoura; PAS – pastagem; MATA – mata nativa.

Os teores de Ca + Mg nas camadas de 0-5 e 5-10 cm foram próximos a 2 $cmol_c$ $dm^{-3}$, que é o considerado ideal por Sousa & Lobato (2004b). Entretanto, quando se analisa isoladamente esses dois nutrientes, apenas o teor de Mg na camada superficial foi considerado adequado. Nas demais camadas tanto a soma de Ca+Mg quanto os teores individuais ficaram aquém do considerado ideal.

Considerando apenas os sistemas de cultivo, verifica-se não ter ocorrido muitas variações. Alguma diferença entre os tratamentos, em especial nas duas primeiras camadas avaliadas, foram verificadas apenas para as variáveis P, K, Ca e CTC(t). Na camada mais superficial, a área de lavoura apresentou com teor P (28,5 mg $dm^{-3}$) maior que as áreas de pastagem (8,8 mg $dm^{-3}$) e floresta plantada (6,2 mg $dm^{-3}$). Na camada de 5-10 cm, os tratamentos lavoura (12,5 mg $dm^{-3}$) e a integração (10,38 mg $dm^{-3}$) superaram a área de eucalipto (4,55 mg $dm^{-3}$) e de pastagem (5,05 mg $dm^{-3}$).

De forma semelhante ao P, o teor de K na camada superior foi maior na lavoura (154 mg $dm^{-3}$), superando o observado na pastagem (77,25 mg $dm^{-3}$) e floresta plantada (45,00 mg $dm^{-3}$). Nas duas camadas seguintes, de 5-10 e 10-20 cm, os tratamentos lavoura e integração apresentaram maiores teores médios de K que os tratamentos floresta plantada e pastagem. Na camada mais profunda (20-30 cm), o teor de K manteve-se maior nos tratamentos lavoura e integração. O teor de Ca e a CTC(t) foram maiores na área de lavoura e menores na pastagem. A aplicação de calcário no tratamento lavoura pode explicar isto, entretanto não existe registro da quantidade adicionada do corretivo.

Os resultados obtidos indicam que a entrada de nutrientes via adubação química contribuiu para elevar os teores de alguns nutrientes, como o P e K. Apesar de a maior entrada de insumos ter ocorrido no tratamento integração lavoura pecuária e floresta (Tabela 2), os maiores teores de nutrientes foram verificados principalmente na lavoura, o que pode ser associado à maior extração de nutrientes na integração, em função dos três cultivos realizados durante o ano.

**Estoque de carbono no solo**

Os estoques de carbono orgânico total (COT) foram praticamente reduzidos à metade reduzidos nos sistemas de cultivo em relação a mata em todas as

camadas avaliadas (Tabela 3). Além disso, os estoques em profundidade foram inferiores. Estes resultados são esperados quando é feita a substituição da mata nativa por sistemas de cultivos.

Tabela 3 – Estoque de carbono orgânico em de 4 camadas estudados em diferentes sistemas de cultivo e ambiente natural em Sinop – MT kg $ha^{-1}$

| Tratamentos | 0-5 cm | 5-10 cm | 10-20 cm | 20-30 cm |
|---|---|---|---|---|
| | Kg $ha^{-1}$ | | | |
| FP | 13684,68 b | 12043,36 b | 17112,35 b | 15012,40 b |
| ILPF | 14729,79 b | 12022,32 b | 18854,86 b | 16188,97 b |
| LAV | 14491,31 b | 12415,11 b | 19048,47 b | 15369,84 b |
| PAS | 15494,34 b | 11868,00 b | 20016,54 b | 14431,57 b |
| MATA | 27088,79 a | 17759,92 a | 27135,52 a | 21356,93 a |
| Média | 17097,78 | 13221,74 | 20433,55 | 16471,94 |
| CV (%) | 32,55 | 19,43 | 20,76 | 18,34 |

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. FP – floresta plantada; ILPF – integração lavoura pecuária floresta; LAV – lavoura; PAS – pastagem; MATA – mata nativa.

A redução do estoque de carbono em profundidade é comum em solos mais intemperizados. Nesse sentido, os dados verificados neste estudo são comparáveis aos observados por Magalhães et al. (2013), Neves et al. (2009), Leite et al. (2010), Demessie et al. (2013) e Matias et al. (2009). Situação inversa é menos comum, mas pode ocorrer, como o relatado por Shrestha et al. (2004), em solos do Nepal onde observaram incremento do estoque de carbono em profundidade com diferentes usos do solo.

Uma das vantagens difundidas dos sistemas de integração é o potencial para manter maior estoque de carbono no solo. Os dados obtidos no presente estudo não levam a este tipo de constatação, uma vez que a área de estabelecimento do sistema de integração lavoura, pecuária e floresta apresentou acúmulo de carbono semelhante às demais áreas cultivadas. Obviamente que o curto tempo de instalação do experimento deve ser considerado, e fica a expectativa de que a opção da integração, em um futuro próximo, permita um maior estoque de carbono.

Neves et al. (2009), ao avaliarem diferentes sistemas agrossilvipastoris, pastagem e eucalipto em monocultivo e mata nativa, relatam que o teor de carbono orgânico total (COT) no solo sob vegetação nativa foi superior em todas as camadas avaliadas, não diferindo da pastagem na camada de 5-20 e 20-40 cm, e do eucalipto, na camada de 20-40 m. Os sistemas agrossilvipastoris apresentaram os menores teores de COT que, segundo os autores, foi em função do longo tempo de instalação dos sistemas solteiros e do curto tempo de instalação dos sistemas integrados.

Neste contexto do estudo da dinâmica do carbono no solo, torna-se interessante a continuidade do monitoramento na área experimental do presente estudo considerando-se as camadas já amostradas. Isto porque alguns trabalhos têm demonstrado que as alterações nos estoques de carbono no solo podem modificar em função da profundidade considerada. Assim, Loss et al. (2012) ao comparar um sistema ILP, lavoura em plantio direto e Cerrado, observaram que o estoque de carbono no solo de Cerrado nativo foi superior aos demais tratamentos apenas na camada superficial (0-10 cm), sendo que nas demais camadas avaliadas (até 30 cm) o resultado foi o inverso. Por sua vez, Matias et al. (2009) verificaram maior estoque de carbono no solo de lavoura em sistema de plantio direto em relação à floresta natural de Cerrado apenas na camada de 0-5 cm, e nas demais camadas até 20 cm de profundidade, não notaram diferença entre os tratamentos.

Mafra et al. (2008), ao estudarem solos de florestas plantadas de pinus, araucária e de mata nativa, observaram maior estoque de carbono na mata apenas na camada de 0-5 cm de profundidade, sem diferenças na camada de 5-10 cm, e maior estoque de carbono na floresta plantada nas camadas 10-20 e 20-40 cm de profundidade.

Na avaliação dos estoques de carbono tomaram-se os dados reajustando-os para as camadas de 0-5; 0-10; 0-20 e de 0-30 cm de forma acumulada (Figura 1). Com esse procedimento, as diferenças entre tratamentos foram reduzidas. Essa opção de apresentação do estoque acumulado facilita a visualização da reserva de carbono em profundidade no solo e sua variação ao longo do perfil, e destaca uma vez mais a alta reserva deste elemento no ambiente natural e a baixa reserva nos sistemas de cultivo.

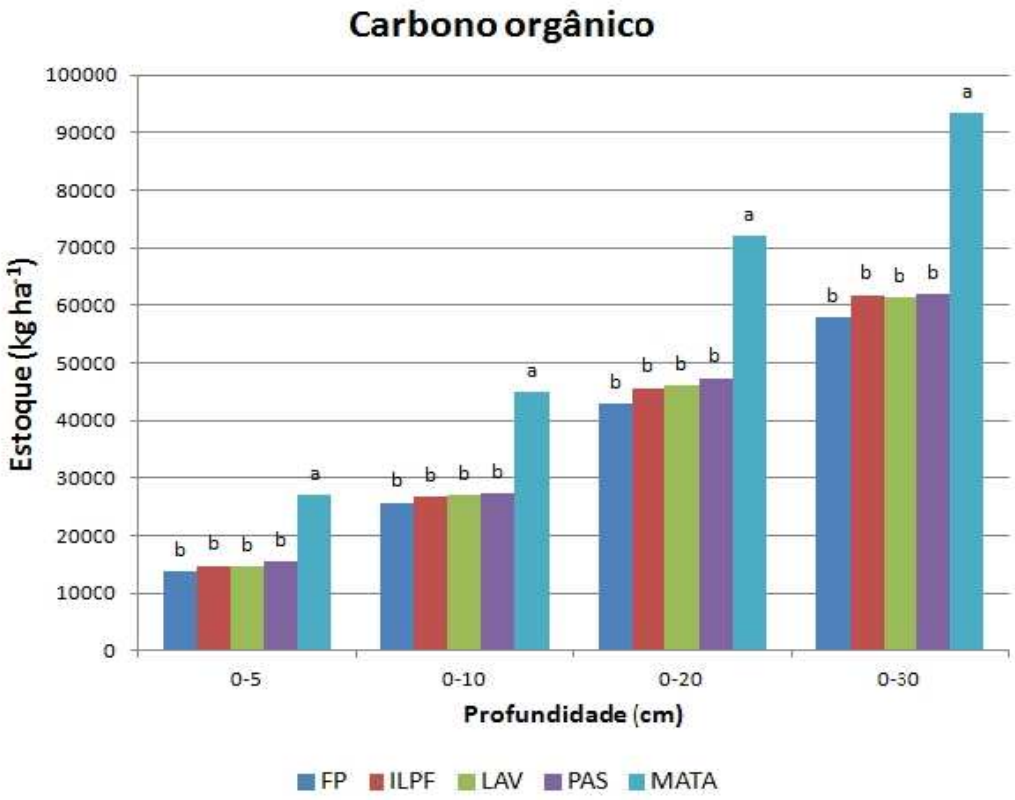


Figura 6 - Estoque de carbono orgânico acumulado por camada até 30 cm. FP - floresta plantada; ILPF - integração lavoura pecuária floresta; LAV - lavoura; PAS - pastagem e MATA - mata nativa.

**CONCLUSÕES**

Após um ano da implantação dos sistemas avaliados, as variações nos atributos químicos do solo nos diferentes sistemas de cultivo refletiram as adubações efetuadas em superfície.

A remoção da vegetação nativa para a implantação de sistemas de cultivo implica na melhoria da qualidade química dos solos, entretanto, com redução do estoque de carbono orgânico presente no sistema natural.

**BIBLIOGRAFIA**

ALVARENGA, R.C.; VIANA, M.C.M. & GONTIJO NETO, M.M. O Estado da arte da Integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. In: SANTOS, L.D.T.; MENDES, L.R.; DUARTE, E.R.; GLÓRIA, J.R.; ANDRADE, J.M.; CARVALHO, L.R.; SALES, N.L.P., ed. Integração lavoura-pecuária-floresta: potencialidades e técnicas

de produção. 1. ed. Montes Claros, Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais 2012. p. 11-20.

ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; DIAS, L.E. & OLIVEIRA, J.A. Determinação e uso do Fósforo Remanescente. Boletim informativo, 25:27-32, 2000.

ANDRADE, L.R.M. Corretivos e fertilizantes para culturas perenes e semiperenes. In: SOUSA, D.M.G. & LOBATO, E., ed. Cerrado correção do solo e adubação 2.ed. Brasília, Embrapa, 2004. p.317-366.

BALBINOT JUNIOR, A.A.; MORAES, A.; VEIGA, M.; PELISSARI, A. & DIECKOW, J. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas.Ciênc. Rural, 39:1925-1933, 2009.

BARCELLOS, A.O.; MEDRADO, M.J.S.; GRISE, M.M.; SKORUPA, L.A. & ROCHA, W.S.D. Base conceitual, sistemas e benefícios da ILPF. In: BALBINO, L.C.; BARCELLOS, A.O.; STONE, L.F. ed. Marco referencial integração lavoura-pecuária-floresta. 1.ed. Brasília, Embrapa, 2011. p.23-37.

BAYER, C.; AMADO, T.J.C.; TORNQUIST, C.G.; CERRI, C.E.C.; DIECKOW, J.; ZANATTA, J.A. & NICOLOSO, R.D.S. Estabilização do carbono no solo e mitigação das emissões de gases de efeito estufa na agricultura conservacionista. Tópicos Ciênc. Solo,7:55-118, 2011.

CARNEIRO, M.A.C.; SOUZA, E.D.D.; REIS, E.F.D.; PEREIRA, H.S. & AZEVEDO, W.R.D. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. Rev. Bras. Ciên. Solo, 33:147-157, 2009.

CARNEIRO, S.P. Qualidade de um Latossolo Vermelho sob diferentes tipos de usos e manejos em área do Cerrado. 2010. 125p. Dissertação – Universiade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

DEFELIPO, B.V. & RIBEIRO, A.C. Análise química do solo. 2.ed. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1997. 26p.

DEMESSIE, A.; SINGH, B. & LAL, R. Soil carbon and nitrogen stocks under chronosequence of farm and traditional agroforestry land uses in Gambo District, Southern Ethiopia. Nut.Cycl. Agroec., 95:365-375, 2013.

LEITE, L.F.; GALVÃO, S.R.; HOLANDA NETO, M.; ARAÚJO, F.S. & IWATA, B.F. Atributos químicos e estoques de carbono em Latossolo sob plantio direto no Cerrado do Piauí. Rev. Bras. Eng. Agric. Amb., 14:1273-1280, 2010.

LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; PERIN, A. & ANJOS, L.H.C. Carbon and nitrogen content and stock in no-tillage and crop-livestock integration systems in the Cerrado of Goias State, Brazil. J. Agri. Sci., 4:96-103, 2012.

MAFRA, Á.L.; GUEDES, S.F.F.; KLAUBERG FILHO, O.; SANTOS, J.C.P.; ALMEIDA, J.A. & ROSA, J.D. Carbono orgânico e atributos químicos do solo em áreas florestais. Rev. Árvore, 32:217-224, 2008.

MAGALHÃES, S.S.A.; WEBER, O.L.S.; SANTOS, C.H. & VALADÃO, F.C.A. Estoque de nutrientes sob diferentes sistemas de uso do solo de Colorado do Oeste-RO. Acta Amaz. 43:63-72, 2013.

MATIAS, M.C.B.S. Atributos químicos e biológicos de um latossolo amarelo sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado do Piauí. 2006. 47p. Dissertação Universidade Federal do Piauí, Teresina.

MATIAS, M.C.B.S.; SALVIANO, A.A.C.; LEITE, L.F.C. & ARAÚJO, A.S.F. Biomassa microbiana e estoques de C e N do solo em diferentes sistemas de manejo, no Cerrado do Estado do Piauí. Acta Sci-Agron. 31:517-521, 2009.

MURPHY, J. & RILEY, J.P. A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. Anal. Chim. Acta, 27:31-36, 1962.

NEVES, C.M.N.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; MACEDO, R.L.G.; MOREIRA, F.M.S. & D'ANDRÉA, A.F. Indicadores biológicos da qualidade do solo em sistema agrossilvopastoril no noroeste do estado de Minas Gerais. Ciênc. Agrotec. 33:105-112, 2009.

NOVAIS, R.F. & SMITH, T.J. Fósforo no solo e planta em condições tropicais. 1.ed. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 390p.

ROMANO, P.A. Integração lavoura-pecuária-floresta: uma estratégia para a sustentabilidade. Infor. Agropec. 31:7-15, 2010.

SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S.; SPERA, S.T. & TOMM, G.O. Efeito de sistemas de produção integração lavoura-pecuária (ILP) sobre a fertilidade do solo em plantio direto. Acta Sci-Agron., 31:719-727, 2009.

SEMA – MT, Secretaria de Estado Meio Ambiente – Mato Grosso. Caractrísticas do Mato Grosso. Disponível em: http://www.sema.mt.gov.br/. Acesso: 30/03/2014

SHRESTHA, B.M.; SITAULA, B.K.; SINGH, B.R. & BAJRACHARYA, R.M. Soil organic carbon stocks in soil aggregates under different land use systems in Nepal. Nutr. Cycl. Agroecosys, 70:201-213, 2004.

SILVA, I.R. & MENDONÇA, E.S. Matéria Orgânica do Solo. In: NOVAES, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B. E NEVES, J. C. L., ed. Fertilidade do solo. 1.ed. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.275-374.

SILVA, L.G.D.; MENDES, I.D.C.; REIS JUNIOR, F.B.; FERNANDES, M.F.; MELO, J.T. & KATO, E. Atributos físicos, químicos e biológicos de um Latossolo de Cerrado em plantio de espécies florestais. Pesqui. Agropec. Bras., 44:613-620, 2009.

SOUSA, D.M.G. & LOBATO, E. Calagem e adubação para culturas anuais e semiperenes. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. ed. Cerrado correção do solo e adubação. 2.ed. Brasília, Embrapa, 2004. p.283-316.

SOUSA, D.M.G. & LOBATO, E. Correção da acidez do solo. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. ed. Cerrado correção do solo e adubação. 2.ed. Brasília, Embrapa, 2004. p.81-96.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. & REIN, T.A. Adubação com fósforo. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. ed. Cerrado correção do solo e adubação. 2.ed. Brasília, Embrapa, 2004. p.147-168.

VILELA, L.; SOARES, W.V.; SOUSA, D.M.G. & MACEDO, M.C.M. Calagem e adubação para pastagens. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. ed. Cerrado correção do solo e adubação. 2.ed. Brasília, Embrapa, 2004. p.367-384.

VILELA, L.; SOUSA, D.M.G. & SILVA, J.E. Adubação potássica. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. ed. Cerrado correção do solo e adubação. 2.ed. Brasília, Embrapa, 2004. p.169-184.

YEOMANS, J.C. & BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of carbon in soil. Pl. Anal. 19:1467-1476, 1988.

**CAPÍTULO 3**

# INFLUÊNCIA DO COMPONETE ARBÓREO SOBRE OS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA, PECUÁRIA E FLORESTA

**RESUMO**

A inserção do componente arbóreo em sistemas integrados tem sido feita com intuito de diversificar a produção, aumentar a rentabilidade por área e proporcionar maior conforto animal nestes sistemas, entretanto, a influência deste componente sobre as características químicas do solo ainda é pouco estudada. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do componente arbóreo dentro de um sistema de integração lavoura, pecuária, floresta e propor um método de amostragem detalhado para ser empregado neste tipo de sistema. O trabalho foi realizado na área experimental da Embrapa Agrossilvipastoril, localizada no município de Sinop, norte do estado do Mato Grosso numa região de transição Cerrado/Floresta Amazônica. O experimento consistiu de um sistema de integração lavoura, pecuária e floresta com renques triplos de eucalipto espaçados 30 metros. Os tratamentos consistiram em diferentes posições, 0, 3, 6, 10 e 15 tomadas nos dois lados do renque, face sul e norte e em quatro camadas 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm de profundidade. O delineamento experimental adotado foi em blocos ao acaso, com quatro repetições. As análises dos teores médios de todas as posições, assim como a análise de cada posição em cada face mostraram que não houve influência diferenciada do renque de eucalipto sobre os teores de nutrientes na face sul e norte. Tomando-se as posições de cada face (sul e norte) como tratamentos independentes, foi possível observar que na face sul o renque não influenciou os teores de nutrientes independentemente das posições avaliadas, contudo na face norte houve aumento dos teores de K com aproximação do renque de eucalipto e nas camadas de 0-5 e 5-10 cm e aumento do teores de Al e porcentagem de saturação deste nutriente com aproximação do renque nas camadas de 10-20 e 20-30 cm. A pequena variação obtida neste estudo na análise das faces norte e sul é esperada uma vez que se trata de um experimento ainda com pouco tempo de instalação (um ano).

**Termos de indexação**: agrossilvipastoril, atributos químicos, incidência solar.

## INTRODUÇÃO

Os sistemas de integração lavoura, pecuária e floresta (ILPF), ou agrossilvipastoril, têm recebido destaque entre produtores e pesquisadores pela versatilidade no uso do solo e maior produção total numa mesma área, aliando diversificação de culturas e intensificação do uso do solo. Estes sistemas caracterizam-se por apresentar o componente arbóreo adicionado com objetivo de realizar sobreamento para os animais, diversificar os sistemas e também ser uma fonte de renda alternativa para o produtor, dentre outros.

Normalmente, as árvores são inseridas em espaçamentos maiores do que na silvicultura tradicional, o que proporciona baixo número de indivíduos por hectare e permite o cultivo de outras culturas nas entrelinhas. Na concepção da proposta de inserir este componente arbóreo no sistema, assume-se que sua presença não prejudica o desenvolvimento das demais culturas, sendo esse um critério para a seleção de espécies de árvores e do espaçamento a ser utilizado. Alguns trabalhos têm verificado vantagens do ponto de vista zootécnico, microclimático e mesmo financeiro, proporcionados pelo componente arbóreo em sistemas de integração (Oliveira Neto & Paiva; Oliveira Neto et al., 2010), no entanto, sobre a variabilidade espacial de características de solo ainda são poucos os trabalhos que buscam compreender a influência das árvores dentro dos sistemas ILPF.

Dois efeitos possíveis são considerados sobre a dinâmica dos nutrientes no solo nas proximidades das espécies arbóreas, quando em sistemas de integração com outras culturas. O primeiro considera que as árvores atuam como fonte de nutrientes, a partir da ação de sistemas radiculares mais profundos que buscam nutrientes em camadas onde as culturas anuais não alcançam e, posteriormente, disponibilizam estes nutrientes em superfície pela deposição de serapilheira (Veiga & Serrão, 1990). O segundo efeito considera que as árvores atuam como dreno de nutrientes e água em função de seu crescimento ocasionando competição com outras culturas no sistema de integração (Oliveira et al., 2010), além de proporcionar sobreamento que pode prejudicar as culturas plantadas na área sob influência das espécies florestais (Alvarenga & Gontijo Neto, 2012).

Dentro da discussão da função e influência das árvores em sistemas de integração, pouco se comenta, por sua vez, da influência deste componente sobre

os atributos químicos do solo. Independentemente de qual efeito antagônico que predomine, o certo é que as árvores podem influenciar as características químicas do solo, e tal influência pode variar em função da distância do tronco das árvores, que no caso do sistema de integração, seria a linha de plantio. Neste sentido, Moura et al. (2011) verificam que as áreas onde o sol da manhã incide, chamadas de face noruega, tendem a apresentar melhores condições químicas do que áreas onde o sol da tarde predomina, que por sua vez são denominadas face soalheira. Embora os autores tenham avaliado um cafezal, deve-se atentar que essas variações devem ser levadas em conta ao se estabelecer um sistema ILPF, pois a posição das árvores pode atenuar ou agravar estes efeitos.

Uma eventual variabilidade nos atributos químicos do solo em resposta ao posicionamento das árvores, se comprovada sob distintas condições de solo, clima e espécies, pode comprometer a eficiência de esquemas de amostragem, que frequentemente desconsideram tal influência e assumem uma variabilidade horizontal uniforme.

A hipótese deste estudo é que as espécies florestais em sistemas de integração lavoura, pecuária e floresta influenciam os atributos químicos do solo dependendo da posição de incidência dos raios solares. Sustentado por essa hipótese, o objetivo foi avaliar a influência do componente arbóreo dentro de um sistema ILPF sobre a variabilidade espacial de atributos químicos do solo, buscando também orientar métodos de amostragem futuros a serem adotados neste tipo de uso da terra.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na área experimental da Embrapa Agrossilvipastoril, localizada no município de Sinop, norte do estado do Mato Grosso, em região de transição Cerrado/Floresta Amazônica. A área está localizada nas proximidades das coordenadas 11°50’53” S e 55°38’57” W. A região possui clima equatorial, com três meses de seca e precipitação anual de 2.000 a 2.500 mm. A temperatura média anual é de 24 ºC, com máximas em torno dos 40 ºC e mínimas próximas de 20 ºC. A altitude é de 380 m (SEMA – MT, 2014) com relevo plano e predomínio de Latossolos Vermelho-Amarelo argiloso.

O experimento foi implantado em outubro de 2011, e foi composto de um sistema de integração lavoura, pecuária e floresta com as seguintes características: cultura de eucalipto (*Eucaliptus urograndis* clone H13) em linhas triplas espaçadas de 30 m com espaçamento 3 x 3 m nos renques, e cultivo anual de soja soja (*Glycine max* (L.) Merr.) no verão e milho *(Zea mays)* safrinha + pastagem (*Brachiaria brizantha (Hochst.) Stapf.* Cv. Marandu) nas entrelinhas da floresta, com estabelecimento da pastagem de inverno após a colheita do milho. Nas entrelinhas todo o manejo do solo foi realizado em sistema de plantio direto.

Antes da instalação do experimento a área era utilizada para produção de soja algodão e milho e apresentava a seguinte caracterização química: pH em $H_2O$ = 5,70; $Al^{3+}$ = 0,00 $cmol_c$ $dm^{-3}$; H+Al = 3,80 $cmol_c$ $dm^{-3}$; $Ca^{2+}$ = 2,60 $cmol_c$ $dm^{-3}$; $Mg^{2+}$ = 0,60 $cmol_c$ $dm^{-3}$; CTC (T) = 6,50 $cmol_c$ $dm^{-3}$; SB = 2,70 $cmol_c$ $dm^{-3}$; P = 14,4 mg $dm^{-3}$; K = 57 mg $dm^{-3}$, C-org = 36,00 g $dm^{-3}$. Foi feita correção do solo antes da instalação do experimento com aplicação de calcário e uma gradagem em área total sem posterior revolvimento do solo.

Devido à falta de modelo de adubação específico para o sistema ILPF, as doses de adubos aplicadas foram estabelecidas de acordo com as culturas presentes no sistema. As doses aplicadas até a realização das amostragens foram as seguintes: no plantio em outubro de 2011 a cultura do eucalipto recebeu 63,00 kg $ha^{-1}$ de $P_2O_5$ e 22,20 kg $ha^{-1}$ de N e $K_2O$ em cobertura. A cultura da soja recebeu no plantio 80,00 kg $ha^{-1}$ de $P_2O_5$ e $K_2O$. Em fevereiro de 2012 foi semeada a cultura do milho que recebeu no plantio 30,40; 106,40 e 60,80 kg $ha^{-1}$ de N, $P_2O_5$ e $K_2O$ respectivamente e em cobertura 45,00 kg $ha^{-1}$. Em outubro de 2012 no plantio foram adicionados 70 kg $ha^{-1}$ de $P_2O_5$ e $K_2O$.

Os cálculos das adubações e as doses aplicadas nos renques de eucalipto foram de acordo com as recomendações de Andrade (2004); a lavoura recebeu adubação conforme Sousa & Lobato (2004) e, a pastagem por ser plantada junto com o milho safrinha, não recebeu nenhuma adubação específica, apenas as realizadas para o milho. Todas as recomendações estão inclusas no manual de adubações do Cerrado (Sousa & Lobato, 2004).

No intuito de se avaliar a variação nas características químicas do solo dentro do sistema ILPF em função do componente arbóreo, foi realizada uma

amostragem em diferentes posições e em dois sentidos tomando como referência os renques de eucalipto. As posições de amostragem foram definidas a 3, 6, 10 e 15 m nos sentidos norte e sul, correspondentes aos dois lados do renque de eucalipto, que foi plantado em sentido leste-oeste (Figura 1). A posição 0 metros, representada na figura coincide com o centro do renque de eucalipto, foi amostrada, mas não entrou nas análises estatísticas por apresentar grande discrepância em relação as demais. Em cada bloco do experimento, cinco transectos, espaçados 30 m um do outro, foram marcados ao longo do renque, e definiram os locais da amostragem. Em cada uma das distâncias dentro de cada transecto, foram tomadas 5 amostras simples, que posteriormente foram unidas às dos demais transectos para compor uma composta, a qual foi submetida aos procedimentos analíticos. Como no momento da amostragem havia a cultura da soja, em cada ponto amostral as amostras foram coletadas tanto na linha de cultivo da soja quanto na entrelinha. Em cada ponto foram amostradas profundidades: 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm.

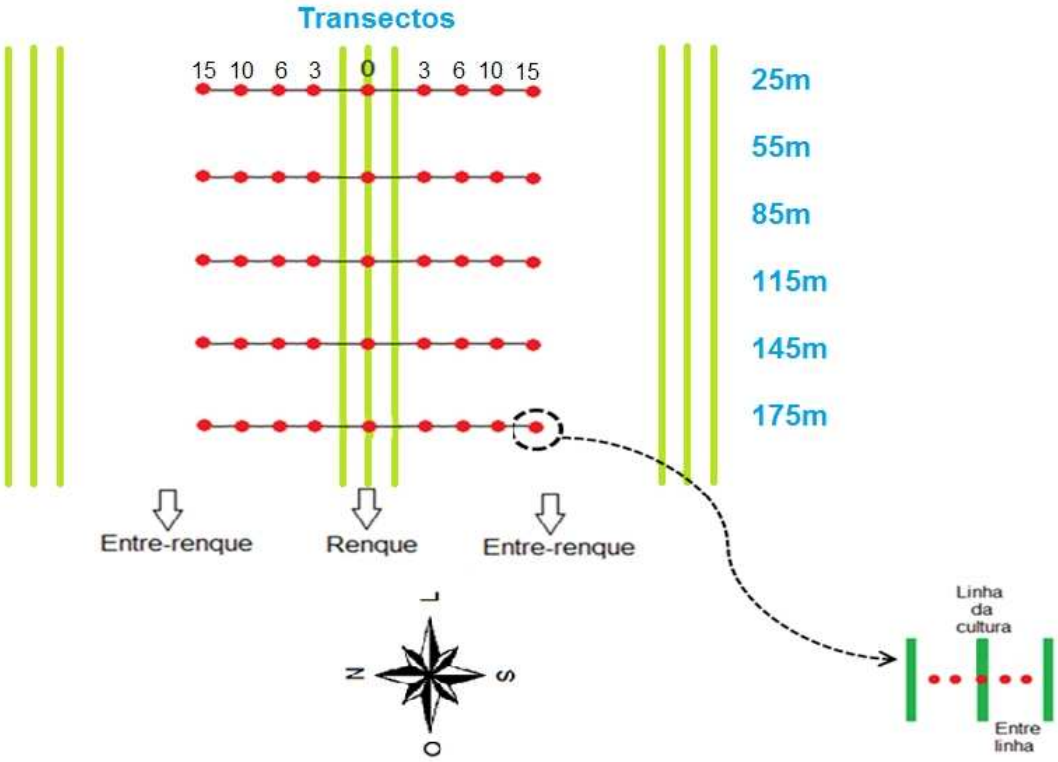


Figura 7 – Croqui representativo do procedimento da amostragem de solo em sistema de integração lavoura pecuária e floresta em Sinop MT.

As amostras de solo destinadas à análise química foram secas ao ar, passadas em peneiras de 2 mm e submetidas no Laboratório de Análises de Solos do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, às seguintes análises: pH em água (1:2,5); $Ca^{2+}$, $Mg^{2+}$ e $Al^{3+}$ trocáveis, extraídos com solução de KCl 1 mol $L^{-1}$ e determinados por espectrofotometria de absorção atômica; acidez potencial (H+Al) extraída com acetato de cálcio a pH 7,0; K e P disponíveis extraído com solução ácida (Mehlich-1) e determinados por espectrofotometria de chama e colorimetria (Murphy & Riley (1962), respectivamente. Todos os procedimentos foram executados segundo (Defelipo & Ribeiro, 1997).

O carbono orgânico foi determinado segundo Yeomans & Bremner (1988). Como indicativo do tamponamento do solo avaliou-se ainda o P remanescente, determinado de acordo com Alvarez V. et al. (2000). Com os resultados das análises químicas foram calculados os valores de soma de bases trocáveis (SB), capacidade de troca catiônica efetiva (t) e total a pH 7,0 (T), saturação do complexo de troca por bases (V) e saturação do complexo de troca por $Al^{3+}$ (m).

No procedimento de análise estatística, as diferentes posições de amostragem constituíram os tratamentos, sendo os resultados obtidos previamente submetidos aos testes de Shapiro Wilk e Levene, para constatação da existência ou não de normalidade e homogeneidade de variâncias, respectivamente. Quando necessário, os dados foram transformados e então submetidos à análise de variância (ANOVA) e ao teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Três tipos de comparações foram conduzidos na análise dos dados. A primeira buscou contrastar as duas posições analisadas, sendo que todas as amostragens de cada face foram analisadas em conjunto, permitindo a comparação norte x sul. A segunda avaliou cada posição nas duas faces, ou seja, 3 m sul x 3 m norte, 6 m sul x 6 m norte, e assim sucessivamente. A terceira teve como objetivo comparar todas as posições dentro da mesma face, ou seja, 3m x 6m x 10m x 15m nas faces norte e sul.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Comparação norte x sul (médias de todas as distâncias)

Na análise das duas faces considerando os valores médios dos atributos químicos tomados em todas as distâncias é possível verificar homogeneidade entre as faces norte e sul dos renques de eucalipto no sistema ILPF, uma vez que as diferenças significativas observadas foram mínimas e ocorreram aleatoriamente (Tabela 1).

Tais diferenças somente foram registradas para o Ca na camada de 0-5 cm; e para P e K, na camada de 10-20 cm onde, os teores médios foram maiores na face sul. De acordo com Radomski & Ribaski (2012), a homogeneidade dos atributos químicos do solo no entre renque de sistemas de integração pode ser efeito residual da adubação realizada nestes locais, afetando os possíveis efeitos do renque de árvores.

No contexto de todos os dados avaliados, nota-se haver certas variações entre as faces, entretanto ainda é prematuro afirmar que o renque de eucalipto influenciou de forma diferenciada os lados norte e sul da atividade, uma vez que as maiores variações foram verificadas na distância de 6 m e em camadas de solo mais profundas. Isto, em uma primeira análise não coaduna com a expectativa de maior efeito na distância de 3 m, que está mais próxima ao renque, e consequentemente, mais sujeita a alterações nos atributos químicos, como sugerido por Porfírio-Da-Silva, (1994); Kindu et al., (2006); Radomski & Ribaski, (2012). Esta similaridade entre as faces fica mais evidente quando retomamos à análise dos resultados das médias de todas as posições em cada face. Obviamente que, tendo em vista o pouco tempo de implantação do sistema de integração, eventuais efeitos ainda possam não ter se expressado no campo.

No mesmo sentido do observado neste estudo, Radomski & Ribaski (2012) não constataram, ao avaliarem a influência de renques de *Grevillea robusta* em sistema silvipastoril de 22 anos de idade e em relevo suave ondulado, diferenças significativas nos atributos químicos de um Latossolo Vermelho distrófico nas distâncias avaliadas (1; 5,6; 10,2 e 14,8 m) nos lado norte e sul, muito embora tenham relatado apenas uma tendência de aumento nos valores C, P, K, Ca e Mg com aproximação do renque, e isso apenas na camada de 0-2,5 cm de profundidade.

Tabela 1 – Caracterização química de solo retirado em quatro camadas e em dois lados do componente arbóreo (face norte e sul) em um sistema de integração lavoura pecuária e floresta em Sinop – MT

| Face | pH | P | K | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $Al^{3+}$ | H+AL | SB | CTC (t) | CTC (T) | V | m | MO | P-Rem |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $H_2O$ | mg $dm^{-3}$ | | $cmol_c$ $dm^{-3}$ | | | | | | | % | | dag $kg^{-1}$ | mg $L^{-1}$ |
| 0-5 cm | | | | | | | | | | | | | | |
| Sul | 5,86 | 22,65 | 109,69 | 2,09 a | 0,71 | 0,08 | 5,42 | 3,07 | 3,16 | 8,49 | 36,14 | 2,59 | 5,30 | 23,38 |
| Norte | 5,68 | 18,16 | 107,50 | 1,98 b | 0,67 | 0,11 | 5,36 | 2,92 | 3,03 | 8,29 | 35,31 | 3,55 | 5,27 | 24,34 |
| Média | 5,77 | 20,41 | 108,59 | 2,03 | 0,69 | 0,09 | 5,39 | 3,00 | 3,09 | 8,39 | 35,73 | 3,07 | 5,29 | 23,86 |
| CV (%) | 2,30 | 31,22 | 14,84 | 9,32 | 8,29 | 38,84 | 4,41 | 8,83 | 8,98 | 4,21 | 6,37 | 38,43 | 4,54 | 5,07 |
| 5-10 cm | | | | | | | | | | | | | | |
| Sul | 5,73 | 13,32 | 75,00 | 1,54 | 0,44 | 0,16 | 5,53 | 2,17 | 2,33 | 7,70 | 28,18 | 7,13 | 4,43 | 20,99 |
| Norte | 5,55 | 11,44 | 73,44 | 1,48 | 0,41 | 0,25 | 5,59 | 2,08 | 2,33 | 7,66 | 27,08 | 11,03 | 4,55 | 21,14 |
| Média | 5,64 | 12,38 | 74,22 | 1,51 | 0,42 | 0,21 | 5,56 | 2,12 | 2,33 | 7,68 | 27,63 | 9,08 | 4,49 | 21,07 |
| CV (%) | 2,31 | 27,94 | 14,98 | 10,02 | 9,55 | 39,29 | 4,78 | 9,25 | 6,03 | 3,55 | 8,52 | 42,69 | 6,95 | 5,17 |
| 10-20 cm | | | | | | | | | | | | | | |
| Sul | 5,56 | 4,85 a | 54,25 a | 1,07 | 0,31 | 0,22 | 5,18 | 1,52 | 1,74 | 6,70 | 22,71 | 13,46 | 3,52 | 19,11 |
| Norte | 5,41 | 2,84 b | 46,56 b | 0,97 | 0,28 | 0,34 | 4,90 | 1,37 | 1,71 | 6,27 | 22,01 | 20,26 | 3,51 | 18,93 |
| Média | 5,49 | 3,85 | 50,41 | 1,02 | 0,30 | 0,28 | 5,04 | 1,45 | 1,73 | 6,49 | 22,36 | 16,86 | 3,51 | 19,02 |
| CV(%) | 2,09 | 41,48 | 19,84 | 17,15 | 12,02 | 31,92 | 6,19 | 15,59 | 9,43 | 4,65 | 14,66 | 38,22 | 3,88 | 4,96 |
| 20-30 cm | | | | | | | | | | | | | | |
| Sul | 5,30 | 2,60 | 40,50 | 0,68 | 0,24 | 0,34 | 4,91 | 1,03 | 1,37 | 5,93 | 17,38 | 25,76 | 2,96 | 17,58 |
| Norte | 5,26 | 2,24 | 38,03 | 0,66 | 0,22 | 0,35 | 4,73 | 0,98 | 1,34 | 5,71 | 17,24 | 27,15 | 2,94 | 17,41 |
| Média | 5,25 | 2,19 | 35,22 | 0,66 | 0,22 | 0,35 | 4,71 | 0,98 | 1,33 | 5,43 | 17,22 | 27,33 | 2,94 | 17,39 |
| CV (%) | 2,51 | 29,75 | 9,25 | 19,64 | 15,42 | 27,70 | 6,58 | 17,75 | 6,52 | 5,43 | 16,59 | 31,92 | 3,19 | 3,64 |

Médias seguidas de letras diferentes indicam diferenças significativas segundo Teste t ($p<0,05$).

Estes autores ainda avaliaram o teor de nutrientes na serapilheira nestas mesmas distâncias e verificaram maiores teores na serapilheira depositada mais próximo ao renque e atribuíram esse fato à menor decomposição deste material nestes locais por influência da não incidência de raios solares que contribuem para aumento da temperatura do solo e consequentemente maior taxa de decomposição do material vegetal depositado. Vale ressaltar que o experimento foi conduzido na região noroeste do estado de Paraná e três anos antes da avaliação foi realizada a correção e adubação do solo de forma homogenia nas áreas de estudo. Mesmo que o estudo tenha sido executado em experimento no qual o renque de árvores foi estabelecido no sentido norte-sul, essa observação não pode ser desconsiderada em sistemas de integração.

Algumas outras diferenças proporcionadas pela distância dos renques são listadas na literatura. Taufner (2012), por exemplo, ao avaliar a influência de renque formado por diferentes espécies florestais em um sistema silvipastoril com três anos de instalação sobre os atributos químicos de um Latossolo Vermelho em quatro diferentes distâncias (0; 2; 4,75 e 8 m), observou maiores e semelhantes teores de matéria orgânica nas distâncias 0; 4,75 e 8,5 m. Por sua vez, os teores de K e S não apresentaram diferenças entre as distâncias. A posição 0 m, que coincidiu com a linha das árvores, apresentou menores teores de Mg, menor saturação por bases e maior valor de H+Al. Segundo os autores, os resultados demonstram a ausência do efeito das árvores no sistema, devido, principalmente, à não diferenciação significativa da quantidade de serapilheira nas diferentes distâncias de coleta em relação às arvores.

**Comparação entre as mesmas distâncias em faces diferentes (3m sul x 3m norte...)**

Na camada mais superficial (0-5 cm) a comparação entre as posições das faces sul e norte dentro de cada uma das distâncias avaliadas revelou pouca variabilidade nos atributos químicos. Apenas pH, P e K apresentaram alguma diferença, indicando certa homogeneidade entre as posições nos dois lados do renque (Tabela 2).

Na posição mais próxima do renque, os valores de pH não variaram entre as faces norte e sul. Entretanto, nas distâncias 6, 10 e 15 m, os pHs na face sul foram maiores que os obtidos na face norte. Embora significativas estatisticamente essas diferenças não têm importância prática, e podem ser atribuídas ao baixo coeficiente de variação obtido entre as posições. Diferenças nos teores de P entre as faces somente foi verificada na distância de 6 m do renque, com superioridade obtida no lado sul. Por sua vez, diferenças entre as faces para o K foram verificadas a 3 e 15 m do renque, respectivamente com maiores teores no lado norte e sul respectivamente.

Na camada de 5-10 cm de profundidade, as diferenças entre mesmas distâncias nas duas faces foram verificadas quanto ao pH, K, Al e m. O pH apresentou diferenças significativas nas mesmas posições que na camada mais superficial, e novamente com os maiores valores verificados na face sul, muito embora também com pequena consequência de ordem prática. O atributo K apresentou teores superiores na face sul em relação à face norte na distância de 15 m do renque. Por sua vez, o teor de $Al^{3+}$ foi maior na face norte em relação à face sul na distância de 6 m do renque. Por conseguinte a mesma verificação foi anotada para a m.

Na camada de 10-20 cm de profundidade várias diferenças nos atributos químicos entre as faces foram observadas, sendo que praticamente todas concentraram-se na distância de 6 m do renque. Assim pH, P, K, Ca, Mg, Al, SB, CTC(T) e m não foram semelhantes nas duas faces nessa distância, à exceção de Al e m, para todos os demais atributos, a superioridade de valores foi anotada no lado sul. O pH ainda variou na distância de 10 m do renque, novamente com a face sul apresentando valores superiores ao da face norte.

Na camada 20-30 cm de profundidade novamente a distância de 6 m do renque de eucalipto foi a que revelou diferenças significativas entre os atributos químicos avaliados. Também novamente foi a face sul a que apresentou os melhores valores do ponto de vista da qualidade química do solo, com maiores teores de P, K; Ca, Mg, H+Al, SB, t e T.

Tabela 2 – Caracterização química de solo retirado em quatro camadas e em diferentes distâncias do componente arbóreo em um sistema de integração lavoura pecuária e floresta em Sinop – MT

| Posições | pH | P | K | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $Al^{3+}$ | H+AL | SB | CTC (t) | CTC (T) | V | m | MO | P-Rem |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $H_2O$ | mg $dm^{-3}$ | | $cmol_c$ $dm^{-3}$ | | | | | | | % | | dag $kg^{-1}$ | mg $L^{-1}$ |
| 0-5 cm | | | | | | | | | | | | | | |
| 3m sul | 5,84 | 17,68 | 96,00 b | 1,99 | 0,72 | 0,12 | 5,08 | 2,95 | 3,08 | 8,03 | 36,80 | 4,08 | 4,99 | 25,38 |
| 3m norte | 5,76 | 19,35 | 125,25 a | 1,98 | 0,69 | 0,13 | 5,30 | 2,99 | 3,12 | 8,29 | 36,08 | 4,18 | 4,97 | 24,18 |
| 6m sul | 5,87 a | 31,43 a | 118,75 | 2,27 | 0,74 | 0,05 | 5,48 | 3,31 | 3,36 | 8,79 | 37,70 | 1,40 | 5,36 | 23,55 |
| 6m norte | 5,63 b | 17,48 b | 122,00 | 1,96 | 0,67 | 0,13 | 5,53 | 2,94 | 3,06 | 8,46 | 34,73 | 4,08 | 5,52 | 25,03 |
| 10m sul | 5,87 a | 21,18 | 112,25 | 2,09 | 0,68 | 0,08 | 5,48 | 3,06 | 3,14 | 8,54 | 35,78 | 2,35 | 5,17 | 22,78 |
| 10m norte | 5,67 b | 17,75 | 104,25 | 2,02 | 0,65 | 0,10 | 5,40 | 2,94 | 3,04 | 8,34 | 35,18 | 3,33 | 5,20 | 24,58 |
| 15m sul | 5,83 a | 20,33 | 111,75 a | 2,00 | 0,69 | 0,08 | 5,65 | 2,97 | 3,05 | 8,62 | 34,30 | 2,55 | 5,71 | 22,83 |
| 15m norte | 5,66 b | 18,08 | 78,50 b | 1,98 | 0,65 | 0,08 | 5,23 | 2,83 | 2,91 | 8,06 | 35,28 | 2,63 | 5,39 | 23,58 |
| Média | 5,77 | 20,41 | 108,59 | 2,03 | 0,69 | 0,09 | 5,39 | 3,00 | 3,09 | 8,39 | 35,73 | 3,07 | 5,29 | 23,86 |
| CV (%) | 1,87 | 34,61 | 17,32 | 10,76 | 8,49 | 65,41 | 8,50 | 9,50 | 8,12 | 6,16 | 8,74 | 68,67 | 7,81 | 5,79 |
| 5-10 cm | | | | | | | | | | | | | | |
| 3m sul | 5,74 | 11,40 | 69,50 | 1,43 | 0,45 | 0,22 | 5,25 | 2,06 | 2,28 | 7,31 | 28,03 | 10,25 | 4,31 | 23,03 |
| 3m norte | 5,60 | 13,03 | 85,75 | 1,55 | 0,43 | 0,27 | 5,55 | 2,20 | 2,47 | 7,75 | 28,35 | 11,48 | 4,50 | 21,33 |
| 6m sul | 5,71 a | 13,15 | 78,25 | 1,59 | 0,46 | 0,15 | 5,55 | 2,24 | 2,39 | 7,79 | 28,70 | 6,50 | 4,31 | 20,48 |
| 6m norte | 5,52 b | 12,55 | 84,25 | 1,48 | 0,41 | 0,22 | 5,73 | 2,11 | 2,33 | 7,83 | 26,98 | 9,70 | 4,79 | 22,15 |
| 10m sul | 5,75 a | 13,93 | 74,25 | 1,52 | 0,41 | 0,13 b | 5,58 | 2,12 | 2,24 | 7,69 | 27,60 | 5,63 b | 4,25 | 20,55 |
| 10m norte | 5,52 b | 10,13 | 68,25 | 1,37 | 0,38 | 0,29 a | 5,60 | 1,92 | 2,22 | 7,52 | 25,60 | 13,13 a | 4,46 | 20,25 |
| 15m sul | 5,73 a | 14,80 | 78,00 a | 1,65 | 0,43 | 0,15 | 5,75 | 2,28 | 2,43 | 8,03 | 28,38 | 6,13 | 4,85 | 19,93 |
| 15m norte | 5,56 b | 10,08 | 55,50 b | 1,51 | 0,42 | 0,22 | 5,48 | 2,07 | 2,29 | 7,55 | 27,40 | 9,83 | 4,46 | 20,85 |
| Média | 5,64 | 12,38 | 74,22 | 1,51 | 0,42 | 0,21 | 5,56 | 2,12 | 2,33 | 7,68 | 27,63 | 9,08 | 4,49 | 21,07 |
| CV (%) | 1,91 | 39,26 | 18,10 | 16,55 | 13,32 | 45,46 | 6,95 | 14,83 | 11,08 | 5,26 | 13,37 | 51,08 | 8,46 | 7,95 |

continua...

continuação da tabela 2

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10-20 cm | | | | | | | | | | | | | | |
| 3m sul | 5,51 | 4,48 | 46,25 | 0,99 | 0,32 | 0,27 | 4,80 | 1,43 | 1,70 | 6,23 | 22,95 | 16,15 | 3,34 | 21,53 |
| 3m norte | 5,46 | 3,40 | 50,75 | 0,94 | 0,28 | 0,37 | 5,08 | 1,36 | 1,72 | 6,43 | 21,33 | 22,48 | 3,55 | 20,58 |
| 6m sul | 5,67 a | 8,88 a | 68,25 a | 1,25 a | 0,37 a | 0,13 b | 5,25 | 1,80 a | 1,92 | 7,05 a | 25,43 | 6,63 b | 3,77 | 18,43 |
| 6m norte | 5,35 b | 2,56 b | 48,50 b | 0,93 b | 0,27 b | 0,37 a | 4,88 | 1,32 b | 1,69 | 6,20 b | 21,33 | 22,13 a | 3,60 | 19,80 |
| 10m sul | 5,60 a | 4,25 | 49,25 | 1,04 | 0,29 | 0,20 | 5,20 | 1,45 | 1,65 | 6,65 | 21,93 | 12,80 | 3,24 | 18,78 |
| 10m norte | 5,38 b | 2,55 | 49,75 | 0,99 | 0,29 | 0,32 | 4,78 | 1,40 | 1,71 | 6,17 | 22,65 | 18,83 | 3,46 | 18,38 |
| 15m sul | 5,49 | 5,63 | 53,25 a | 1,01 | 0,28 | 0,29 | 5,45 | 1,42 | 1,71 | 6,87 | 20,53 | 18,25 | 3,74 | 17,73 |
| 15m norte | 5,44 | 2,85 | 37,25 b | 1,03 | 0,30 | 0,30 | 4,88 | 1,43 | 1,72 | 6,30 | 22,73 | 17,60 | 3,42 | 17,95 |
| Média | 5,49 | 4,33 | 50,41 | 1,02 | 0,30 | 0,28 | 5,04 | 1,45 | 1,73 | 6,49 | 22,36 | 16,86 | 6,49 | 22,36 |
| CV (%) | 2,51 | 66,16 | 16,85 | 19,85 | 19,22 | 38,37 | 9,51 | 18,16 | 11,56 | 6,49 | 18,95 | 44,58 | 4,42 | 5,36 |
| 20-30 cm | | | | | | | | | | | | | | |
| 3m sul | 5,29 | 2,90 | 38,50 | 0,63 | 0,23 | 0,34 | 4,48 | 0,96 | 1,30 | 5,43 | 17,58 | 26,28 | 2,81 | 18,80 |
| 3m norte | 5,21 | 2,18 | 36,75 | 0,59 | 0,20 | 0,47 | 4,68 | 0,89 | 1,35 | 5,56 | 15,85 | 35,58 | 3,07 | 17,68 |
| 6m sul | 5,33 | 4,00 a | 50,75 a | 0,80 a | 0,28 a | 0,29 | 5,20 a | 1,20 a | 1,50 a | 6,40 a | 18,88 | 20,18 | 3,14 | 17,55 |
| 6m norte | 5,20 | 1,38 b | 36,50 b | 0,57 b | 0,19 b | 0,39 | 4,48 b | 0,86 b | 1,25 b | 5,34 b | 16,13 | 31,23 | 2,96 | 17,98 |
| 10m sul | 5,33 | 2,35 | 36,00 | 0,73 | 0,23 | 0,32 | 5,03 | 1,05 | 1,37 | 6,08 a | 17,68 | 24,00 | 2,72 | 16,18 |
| 10m norte | 5,18 | 1,63 | 39,25 | 0,65 | 0,20 | 0,34 | 4,55 | 0,94 | 1,28 | 5,49 b | 17,10 | 27,20 | 2,74 | 16,83 |
| 15m sul | 5,24 | 2,15 | 36,75 | 0,58 | 0,21 | 0,42 | 4,93 a | 0,89 | 1,31 | 5,82 | 15,40 | 32,60 | 3,07 | 17,78 |
| 15m norte | 5,27 | 1,95 | 27,25 | 0,73 | 0,24 | 0,27 | 4,33 b | 1,03 | 1,30 | 5,36 | 19,15 | 21,55 | 2,97 | 16,33 |
| Média | 5,25 | 2,32 | 37,72 | 0,66 | 0,22 | 0,35 | 4,71 | 0,98 | 1,33 | 5,68 | 17,22 | 27,33 | 2,94 | 17,39 |
| CV (%) | 2,67 | 48,33 | 17,68 | 21,08 | 21,12 | 31,80 | 8,51 | 19,44 | 9,45 | 6,23 | 19,68 | 34,67 | 8,07 | 8,26 |

Médias seguidas de letras diferentes dentro da mesma distância do renque de eucalipto indicam diferenças significativas segundo Teste t ($p<0,05$).

**Comparações entre distâncias (3m sul x 6m sul...)**

Na última comparação realizada, as diferenças nos lados sul e norte também não foram muito expressivas, quando se contrastou as distâncias dentro de cada face (Tabela 3). Na face sul, apenas a matéria orgânica na camada de 0-5 cm; o K na camada de 10-20 cm e a CTC(T) na camada de 20-30 cm de profundidade apresentaram alguma diferença, sem uma tendência clara de aumento ou redução com o aumento da distância do renque de eucalipto.

Na face norte também houve pouca variação nos atributos químicos do solo entre as posições estudadas. Apenas o K nas camadas de 0-5 e de 5-10 cm de profundidade, e o Al e m na camada de 20-30 cm apresentaram diferenças entre as distâncias do renque avaliadas. Em todos esses casos nota-se a tendência de maiores teores quanto mais próximo das espécies florestais. No caso do K, esse efeito mais pronunciado pode ter ocorrido uma vez que este nutriente não faz parte de nenhum composto estrutural dos tecidos vegetais permitindo sua rápida perda após a morte do tecido (Ernani et al., 2007).

A contribuição da serapilheira com o K do solo já foi relatada por Bellote et al. (2008), que observaram que a deposição média de serapilheira no segundo e terceiro ano de uma floresta de eucalipto foi de 9,3 Mg $ha^{-1}$, o que disponibilizou neste período cerca de 9,8 kg $ha^{-1}$ de K. Os autores observaram também que a maior deposição de nutrientes pelo eucalipto depende também de maior disponibilidade deste nutriente no solo, o que provavelmente pode ter ocorrido neste trabalho, já que o solo na região do entre renques recebeu altas doses de NPK. Ainda segundo os autores, apenas a deposição de serapilheira ao solo não garante a disponibilidades deste nutriente às plantas. Por sua vez, Vezzani et al. (2001) observaram que uma planta de eucalipto com 45 meses de idade em cultivo solteiro é capaz de produzir até 12,8 kg de serapilheira e 82 g de K com a queda de suas folhas.

Quanto ao Al apresentar maior teor próximo ao renque de eucalipto, isto pode ser associado à absorção de bases pela espécie florestal, fazendo com que o alumínio aumentasse sua atividade na solução do solo e, consequentemente, seu teor no complexo de troca.

Tabela 3 – Caracterização química de solo tomadas em diferentes camadas e posições em relação ao renque de eucalipto em um sistema de integração lavoura pecuária e floresta em Sinop, MT

| Sul | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0-5 cm | | | | | | | | | | | | | | |
| Distância | pH | P | K | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $Al^{3+}$ | H+AL | SB | CTC (t) | CTC (T) | V | m | MO | P-Rem |
| | $H_2O$ | mg $dm^{-3}$ | | cmolc $dm^{-3}$ | | | | | | | % | | dag $kg^{-1}$ | mg $L^{-1}$ |
| 3 | 5,84 | 17,68 | 96,00 | 1,99 | 0,72 | 0,12 | 5,08 | 2,95 | 3,08 | 8,03 | 36,80 | 4,08 | 4,99 b | 25,38 |
| 6 | 5,87 | 31,43 | 118,75 | 2,27 | 0,74 | 0,05 | 5,48 | 3,31 | 3,36 | 8,79 | 37,70 | 1,40 | 5,36 ab | 22,55 |
| 10 | 5,87 | 21,18 | 112,25 | 2,09 | 0,68 | 0,08 | 5,48 | 3,06 | 3,14 | 8,54 | 35,78 | 2,35 | 5,17 b | 22,78 |
| 15 | 5,83 | 20,33 | 111,75 | 2,00 | 0,69 | 0,08 | 5,65 | 2,97 | 3,05 | 8,62 | 34,30 | 2,55 | 5,70 a | 22,83 |
| Média | 5,86 | 22,65 | 109,69 | 2,09 | 0,71 | 0,08 | 5,42 | 3,07 | 3,16 | 8,49 | 36,14 | 2,59 | 5,30 | 23,38 |
| CV (%) | 1,14 | 47,70 | 17,53 | 14,30 | 10,86 | 90,63 | 7,86 | 12,96 | 12,42 | 7,72 | 8,79 | 90,97 | 8,11 | 8,09 |
| 5-10 cm | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 5,74 | 11,40 | 69,50 | 1,43 | 0,45 | 0,22 | 5,25 | 2,06 | 2,28 | 7,31 | 28,03 | 10,25 | 4,31 | 21,03 |
| 6 | 5,71 | 13,15 | 78,25 | 1,59 | 0,46 | 0,15 | 5,55 | 2,24 | 2,39 | 7,79 | 28,70 | 6,50 | 4,31 | 20,48 |
| 10 | 5,75 | 13,93 | 74,25 | 1,52 | 0,41 | 0,13 | 5,58 | 2,12 | 2,24 | 7,69 | 27,60 | 5,63 | 4,25 | 20,55 |
| 15 | 5,73 | 14,80 | 78,00 | 1,65 | 0,43 | 0,15 | 5,75 | 2,28 | 2,43 | 8,03 | 28,38 | 6,13 | 4,85 | 19,93 |
| Média | 5,73 | 13,32 | 75,00 | 1,54 | 0,44 | 0,16 | 5,53 | 2,17 | 2,33 | 7,70 | 28,18 | 7,13 | 4,43 | 20,99 |
| CV (%) | 1,61 | 41,09 | 14,94 | 16,16 | 13,39 | 53,15 | 7,72 | 14,07 | 11,41 | 6,69 | 11,77 | 58,14 | 9,44 | 8,19 |

Continua...

continuação

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10-20 cm | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 5,51 | 4,48 | 46,25 b | 0,99 | 0,32 | 0,27 | 4,80 | 1,43 | 1,70 | 6,23 | 22,95 | 16,15 | 3,34 | 21,53 |
| 6 | 5,67 | 8,88 | 68,25 a | 1,25 | 0,37 | 0,13 | 5,25 | 1,80 | 1,92 | 7,05 | 25,43 | 6,63 | 3,77 | 18,43 |
| 10 | 5,60 | 4,25 | 49,25 b | 1,04 | 0,29 | 0,20 | 5,20 | 1,45 | 1,65 | 6,65 | 21,93 | 12,80 | 3,24 | 18,78 |
| 15 | 5,49 | 5,63 | 53,25 ab | 1,01 | 0,28 | 0,29 | 5,45 | 1,42 | 1,71 | 6,87 | 20,53 | 18,25 | 3,74 | 19,73 |
| Média | 5,56 | 5,81 | 54,25 | 1,07 | 0,31 | 0,22 | 5,18 | 1,52 | 1,74 | 6,70 | 22,71 | 13,46 | 3,52 | 19,11 |
| CV (%) | 2,65 | 78,18 | 26,58 | 24,30 | 18,35 | 56,36 | 8,54 | 22,12 | 14,35 | 7,44 | 19,39 | 63,40 | 11,00 | 11,23 |
| 20-30 cm | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 5,29 | 2,90 | 38,50 | 0,63 | 0,23 | 0,34 | 4,48 | 0,96 | 1,30 | 5,43 b | 17,58 | 26,28 | 2,81 | 18,80 |
| 6 | 5,33 | 4,00 | 50,75 | 0,80 | 0,28 | 0,29 | 5,20 | 1,20 | 1,50 | 6,40 a | 18,88 | 20,18 | 3,24 | 17,55 |
| 10 | 5,33 | 2,35 | 36,00 | 0,73 | 0,23 | 0,32 | 5,03 | 1,05 | 1,37 | 6,08 ab | 17,68 | 24,00 | 2,72 | 16,18 |
| 15 | 5,24 | 2,15 | 36,75 | 0,58 | 0,21 | 0,42 | 4,93 | 0,89 | 1,31 | 5,82 ab | 15,40 | 32,60 | 3,07 | 17,78 |
| Média | 5,30 | 2,85 | 40,50 | 0,68 | 0,24 | 0,34 | 4,91 | 1,03 | 1,37 | 5,93 | 17,38 | 25,76 | 2,96 | 17,58 |
| CV (%) | 3,46 | 55,64 | 25,79 | 27,61 | 21,59 | 43,86 | 11,37 | 25,19 | 11,69 | 8,78 | 25,17 | 48,11 | 9,68 | 10,03 |

continua...

continuação

| Norte | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0-5 cm | | | | | | | | | | | | | | |
| Posição | pH | P | K | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $Al^{3+}$ | H+AL | SB | CTC (t) | CTC (T) | V | m | MO | P-Rem |
| | $H_2O$ | mg $dm^{-3}$ | | cmolc $dm^{-3}$ | | | | | | | % | | dag $kg^{-1}$ | mg $L^{-1}$ |
| 3 | 5,76 | 19,35 | 125,25 a | 1,98 | 0,69 | 0,13 | 5,30 | 2,99 | 3,12 | 8,29 | 36,08 | 4,18 | 4,97 | 24,18 |
| 6 | 5,63 | 17,48 | 122,00 a | 1,96 | 0,67 | 0,13 | 5,53 | 2,94 | 3,06 | 8,46 | 34,73 | 4,08 | 5,52 | 25,03 |
| 10 | 5,67 | 17,75 | 104,25 ab | 2,02 | 0,65 | 0,10 | 5,40 | 2,94 | 3,04 | 8,34 | 35,18 | 3,33 | 5,20 | 24,58 |
| 15 | 5,66 | 18,08 | 78,5 b | 1,98 | 0,65 | 0,08 | 5,23 | 2,83 | 2,91 | 8,06 | 35,28 | 2,63 | 5,39 | 23,58 |
| Média | 5,68 | 18,16 | 107,50 | 1,98 | 0,67 | 0,11 | 5,36 | 2,92 | 3,03 | 8,29 | 35,31 | 3,55 | 5,27 | 24,34 |
| CV (%) | 2,49 | 34,84 | 25,87 | 11,00 | 9,46 | 41,65 | 7,82 | 9,66 | 9,07 | 4,90 | 9,34 | 43,69 | 8,85 | 6,63 |
| 5-10 cm | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 5,60 | 13,03 | 85,75 a | 1,55 | 0,43 | 0,27 | 5,55 | 2,20 | 2,47 | 7,75 | 28,35 | 11,48 | 4,50 | 21,33 |
| 6 | 5,52 | 12,55 | 84,25 a | 1,48 | 0,41 | 0,22 | 5,73 | 2,11 | 2,33 | 7,83 | 26,98 | 9,70 | 4,79 | 22,15 |
| 10 | 5,52 | 10,13 | 68,25 ab | 1,37 | 0,38 | 0,29 | 5,60 | 1,92 | 2,22 | 7,52 | 25,60 | 13,13 | 4,46 | 20,25 |
| 15 | 5,56 | 10,08 | 55,50 b | 1,51 | 0,42 | 0,22 | 5,48 | 2,07 | 2,29 | 7,55 | 27,40 | 9,83 | 4,46 | 20,85 |
| Média | 5,55 | 11,44 | 73,44 | 1,48 | 0,41 | 0,25 | 5,59 | 2,08 | 2,33 | 7,66 | 27,08 | 11,03 | 4,55 | 21,14 |
| CV (%) | 2,09 | 42,03 | 27,96 | 13,96 | 11,37 | 36,59 | 5,84 | 12,7 | 9,14 | 3,99 | 11,79 | 41,21 | 10,51 | 9,41 |

continua...

continuação

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10-20 cm | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 5,46 | 3,40 | 50,75 | 0,94 | 0,28 | 0,37 | 5,08 | 1,36 | 1,72 | 6,43 | 21,33 | 22,48 | 3,55 | 19,58 |
| 6 | 5,35 | 2,58 | 48,50 | 0,93 | 0,27 | 0,37 | 4,88 | 1,32 | 1,69 | 6,20 | 21,33 | 22,13 | 3,60 | 19,80 |
| 10 | 5,38 | 2,55 | 49,75 | 0,99 | 0,29 | 0,32 | 4,78 | 1,40 | 1,71 | 6,17 | 22,65 | 18,83 | 3,46 | 18,38 |
| 15 | 5,44 | 2,85 | 37,25 | 1,03 | 0,30 | 0,30 | 4,88 | 1,43 | 1,72 | 6,30 | 22,73 | 17,60 | 3,42 | 17,95 |
| Média | 5,41 | 2,84 | 46,56 | 0,97 | 0,28 | 0,34 | 4,90 | 1,37 | 1,71 | 6,27 | 22,01 | 20,26 | 3,51 | 18,93 |
| CV (%) | 2,62 | 34,86 | 26,61 | 21,71 | 19,07 | 27,84 | 10,08 | 19,6 | 12,68 | 6,22 | 21,12 | 37,09 | 7,17 | 5,91 |
| 20-30 cm | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 5,21 | 2,18 | 36,75 | 0,59 | 0,20 | 0,47 a | 4,68 | 0,89 | 1,35 | 5,56 | 15,85 | 35,58 a | 3,07 | 17,68 |
| 6 | 5,20 | 1,38 | 36,50 | 0,57 | 0,19 | 0,39 ab | 4,48 | 0,86 | 1,25 | 5,34 | 16,13 | 31,23 ab | 2,86 | 17,98 |
| 10 | 5,18 | 1,63 | 39,25 | 0,65 | 0,20 | 0,34 ab | 4,55 | 0,94 | 1,28 | 5,49 | 17,10 | 27,20 ab | 2,74 | 16,83 |
| 15 | 5,27 | 1,95 | 27,25 | 0,73 | 0,24 | 0,27 b | 4,33 | 1,03 | 1,30 | 5,36 | 19,15 | 21,55 b | 2,97 | 16,33 |
| Média | 5,21 | 1,78 | 34,94 | 0,63 | 0,21 | 0,37 | 4,51 | 0,93 | 1,30 | 5,44 | 17,06 | 28,89 | 2,91 | 17,20 |
| CV (%) | 2,44 | 38,36 | 23,64 | 26,27 | 21,53 | 33,15 | 5,58 | 22,4 | 9,38 | 4,75 | 20,63 | 37,63 | 8,58 | 7,34 |

Médias seguidas de letras diferentes indicam diferenças significativas segundo Teste t ($p<0,05$).

Faria & Sabino (2007) também observaram aumento do teor de Al com a redução da distância em relação à cepa remanescente de eucalipto, aos 51 meses de idade. Segundo os autores, isso ocorreu devido à maior absorção das bases pela planta, principalmente Ca, contudo o efeito ocorreu também em superfície e não apenas em camadas mais profundas. Por sua vez, Faria et al. (2009), avaliando povoamentos de eucalipto com diferentes idades, verificaram que os teores de P, K, Ca e Al diminuiu com a distância do tronco do eucalipto aos 31, 54 e 84 meses, e os valores de pH aumentaram à medida que se afasta do tronco do eucalipto aos 31 e 84 meses, assim como os teores de Mg em relação ao tronco do eucalipto aos 31 meses.

Merece destaque o fato de que, mesmo com apenas um ano de idade, o eucalipto é capaz de produzir raízes que penetram facilmente no solo até camadas superiores a 30 cm, principalmente quando estas plantas estão submetidas a espaçamentos menos densos que propiciam melhores condições ao seu desenvolvimento. Além disso, um estímulo ao crescimento lateral de raízes em relação ao renque pode ter sido estimulado na integração, uma vez que nesta direção há menos competição com outras plantas de eucalipto e mais nutrientes inseridos pelas adubações das culturas nos entre renque (Drew, 1975). Este possível estímulo ao desenvolvimento das raízes pelas laterais do renque de eucalipto é um fator que no futuro deve ser determinante nas alterações dos atributos químicos de solo no sistema e, portanto, devem ser avaliados com mais atenção.

## CONCLUSÕES

As análises dos teores médios de todas as posições, assim como a análise de cada posição em cada face mostraram que não houve influência do renque de eucalipto sobre os teores de nutrientes nas faces sul e norte. Aparentemente as alterações encontradas ocorreram com pequena discrepância entre valores, sendo associadas ao baixo coeficiente de variação e, na prática, não trazem maiores alterações.

A pequena variação obtida pode ser decorrente do pouco tempo de instalação do experimento.

**BIBLIOGRAFIA**

ALVARENGA, R.C. & GONTIJO NETO, M.M. Inovações tecnológicas nos sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta-iLPF. In: SIMPÓSIO DE PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE, 8.; SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE, 4., 2012. Anais. Viçosa. Universidade Fedral de Viçosa, 2012. CD-ROM

ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; DIAS, L.E. & OLIVEIRA, J.A. Determinação e uso do Fósforo Remanescente. Boletim Informativo, 25:27-32, 2000.

ANDRADE, L.R.M. Corretivos e fertilizantes para culturas perenes e semiperenes. In: SOUSA, D. M.G. &LOBATO, E., ed. Cerrado correção do solo e adubação 2.ed. Brasília, Embrapa, 2004. p.317-366.

BELLOTE, A.F.J.; DEDECEK, R.A. & DA SILVA, H.D. Nutrientes minerais, biomassa e deposição de serapilheira em plantio de Eucalyptus com diferentes sistemas de manejo de resíduos florestais. Pesqui. Flores. Bras., 56:31-41, 2008.

DEFELIPO, B.V. & RIBEIRO, A.C. Análise química do solo. 2.ed. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1997. 26p.

DREW, M.C. Comparison of the effects of a localised supply of phosphate, nitrate, ammonium and potassium on the growth of the seminal root system, and the shoot, in barley. New Phytol., 75:479-490, 1975.

ERNANI, P.R.; ALMEIDA, J.A. & SANTOS, F.C. Fósforo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V. V.H.;BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. NEVES, J.C. ed. Fertilidade do Solo, 1.ed. 2007. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p.551-594.

FARIA, G.E. & SABINO, D.S. Características químicas do solo em diferentes distâncias da cepa de eucalipto. Rev. Tróp-Ciênc. Agra. Bio. 1:50-58, 2007.

FARIA, G.E.D.; BARROS, N.F.D.; NOVAIS, R.F.D. & SILVA, I.R.D. Características químicas do solo em diferentes distâncias do tronco de eucalipto e em diferentes profundidades. Rev. Árvore, 33:799-810, 2009.

KINDU, M.; GLATZEL, G.; TADESSE, Y. & YOSEF, A. Tree species screened on Nitosols of Central Ethiopia: biomass production, nutrient contents and effect on soil nitrogen. J. Trop. For. Sci., 18:173-180, 2006.

MOURA, W.M.; LIMA, P.C.; MOREIRA, G.M. & LOPES, V.S. Tecnologia para produção de café orgânico. In: LIMA, P.C.; MOURA, W.M.; VENZON, M.; PAULA JR., T.J. & FONSECA, M.C.M., ed. Produção de café orgânico. 1.ed. Viçosa, Epamig, 2011. p.41-68.

MURPHY, J. & RILEY, J.P. A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. Anal. Chim. Acta, 27:31-36, 1962.

OLIVEIRA, F.L.R.; LAZO, J.A.; SANTOS, L.D.T.; MACHADO, V.D. & SANTOS, M.V. Integração lavoura-pecuária-floresta, conceitos, componentes e possibilidades. In: SANTOS, L. D. T.; SALES, N. L. P.; DUARTE, E. R.; OLIVEIRA, F. L. R.; MENDES, L. R., ed. Integração lavoura-peuária-floresta: alternativa para produção sustentávvel nos trópicos. 1.ed. Belo Horizonte, Universadade Federal de Minas Gerais, 2010. p.9-26.

OLIVEIRA NETO, S.N. & PAIVA, H.N. Implantação e manejo do componente arbóreo em sistema Agrossilvipastoril. In: Oliveira Neto, S. N.; Vale, A. B.; Nacif, A. P.; Vilar, M. B.; Assis, J. B., ed. Sistema Agrossilvipastoril Integração Lavoura, Pecuária e Floresta. 1.ed. Viçosa, Sistema de Investigações Florestais 2010. p.15-68.

OLIVEIRA NETO, S.N.; REIS, G.G.; REIS, M.G.F. & LEITE, H.G. Arranjos estruturais do componente arbóreo em Sistema Agrossilvipastoril e seu manejo por desrrama e desbaste. Infor. Agropec. 31:47-58, 2010.

PORFÍRIO-DA-SILVA, V. Sistema silvipastoril (grevílea + pastagem): uma proposição para o aumento de produção do arenito cuiá. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 1., ECONTRO SOBRE SISTEMAS AGROFLORESTAIS NOS PAÍSES DO MERCOSUL. 2, Porto Velho, 1994. Anais, Porto Velho, Embrapa Florestas, 1994. p.291-297.

RADOMSKI, M.I. & RIBASKI, J. Fertilidade do solo e produtividade da pastagem em sistema silvipastoril com Grevillea robusta. Pesq. Flor. Bras., 32:53, 2012.

SEMA – MT, Secretaria de Estado Meio Ambiente – Mato Grosso. Caractrísticas do Mato Grosso. Disponível em: http://www.sema.mt.gov.br/. Acesso: 30/03/2014.

SOUSA, D.M.G. & LOBATO, E. Calagem e adubação para culturas anuais e semiperenes. In: SOUSA, D.M.G.;LOBATO, E., ed. Cerrado correção do solo e adubação. 2.ed. Brasília, Embrapa. 2004. p.317-366.

SOUSA, D.M.G. & LOBATO, E. Cerrado correção do solo e adubação. 2.ed. Brasília, Embrapa, 2004. 416p.

TAUFNER, G.A. Atributos físcos e químicos de solo em sistemas silvipastoril. 2012 74p. Dissertação – Universidade Federal do Espírito Santo, São Mateus.

VEIGA, J.B. & SERRÃO, E.A.S. Sistema silvipastoril e produção animal nos trópicos umido: a experiência na Amazônia brasileira. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia. 27., Campinas, 1990. Anais, Campinas, Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1990. p.37‑68.

VEZZANI, F.; TEDESCO, M. & BARROS, N. Alterações dos nutrientes no solo e nas plantas em consórcio de eucalipto e acácia-negra. Rev. Bras. Ciênc. Solo, 25:225-231, 2001.

VILELA, L.; SOARES, W.V.; SOUSA, D.M.G. & MACEDO, M.C.M. Calagem e adubação para pastagens. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. ed. Cerrado correção do solo e adubação. 2.ed. Brasília, Embrapa, 2004. p.367-384.

**CONCLUSÃO GERAL**

Após um ano da implantação de sistemas produtivos solteiros e integrados na região de transição entre Floresta Amazônica e Cerrado, os atributos físicos associados à estrutura do solo foram pouco alterados, muito embora as modificações tenham sido mais expressivas com a utilização da lavoura de cultura anual. A resistência do solo à penetração foi o atributo que apresentou maior sensibilidade às alterações iniciais neste primeiro ano de utilização agrossilvipastoril.

No tocante aos atributos químicos, as variações verificadas após o primeiro ano nos diferentes sistemas de cultivo implantados foram reflexo das adubações efetuadas em superfície. Dessa forma, os estoques de nutrientes foram dependentes do input de nutrientes no plantio e em cobertura, com as áreas de lavoura e de integração lavoura, pecuária e floresta destacando-se com os maiores estoques de P e K.

A análise da variabilidade espacial dos teores dos atributos químicos em função da posição no sistema de integração lavoura, pecuária e floresta mostraram não ter havido ainda influência do renque de eucalipto sobre os teores de nutrientes nas faces sul e norte. As poucas alterações verificadas, embora significativas, não apresentaram implicações de ordem prática.