

FERNANDO OLIVEIRA FRANCO

FONTES DE FÓSFORO NA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA INTEGRAÇÃO  
LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA: ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO, MATÉRIA  
ORGÂNICA E PRODUTIVIDADE DA SOJA

Dissertação apresentada à Universidade Federal de  
Uberlândia, como parte das exigências do Programa de  
Pós graduação em Agronomia – Mestrado, área de  
concentração em Ciência do Solo, para obtenção do  
título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. Beno Wendling

Co-orientador

Dr. Carlos Juliano Brant Albuquerque

UBERLÂNDIA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2013

FERNANDO OLIVEIRA FRANCO

FONTES DE FÓSFORO NA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA INTEGRAÇÃO  
LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA: ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO, MATÉRIA  
ORGÂNICA E PRODUTIVIDADE DA SOJA

Dissertação apresentada à Universidade Federal de  
Uberlândia, como parte das exigências do Programa de  
Pós graduação em Agronomia – Mestrado, área de  
concentração em Ciência do Solo, para obtenção do  
título de “Mestre”.

Aprovada em 26 de Fevereiro de 2013

Dr. Carlos Juliano Brant Albuquerque  
(co-orientador)

EPAMIG

Prof. Dr. Bruno Teixeira Ribeiro

UFU

Prof. Dra. Angélica Araújo Queiroz

IFTM

Prof. Dr. Beno Wendling  
ICIAG-UFU  
(Orientador)

UBERLÂNDIA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2013

Aos meus pais, Paulo e Gislaine e ao meu irmão Paulo Eduardo, pelo apoio, dedicação e exemplos que são para mim.

## **DEDICO**

A minha namorada Fabiana, meus familiares e amigos, que torceram e me ajudaram nesta conquista.

## **OFEREÇO**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, nosso Pai, com Ele nada nos faltará.

À minha família, pai, mãe e meu irmão, que souberam me acompanhar durante essa caminhada. A minha namorada, que sempre esteve ali torcendo e me ajudando. Peço a vocês desculpas por minhas falhas.

A UFU, em especial ao Instituto de Ciências Agrárias, pela formação agrônômica e pessoal que me proporcionaram.

Ao meu orientador da graduação Prof. Dr. Elias Nascentes Borges, uma das primeiras pessoas a me incentivar para seguir na carreira acadêmica.

Ao meu orientador de Mestrado, Prof. Dr. Beno Wendling, pela confiança depositada, pelos ensinamentos compartilhados e, acima de tudo, pelo companheirismo.

Aos demais professores e servidores do ICIAG, pelos ensinamentos e colaborações prestadas nestes 6 anos e meio de convívio. Em especial, ao Marco Aurélio.

A Capes, pela Bolsa de Estudo concedida.

A EPAMIG, em especial ao meu Co-orientador Dr. Carlos Juliano Brant Albuquerque, pela disponibilização da área para ser implantado o experimento e pelo convite para participar em um dos seus projetos.

A Empresa GEOCICLO, em especial o companheiro de Pós-Graduação Robson Xavier, pela disponibilização dos fertilizantes utilizados na pesquisa.

Aos companheiros estagiários, Danilo Alves Cabral, Diego Ramom e Rafael Marcão, pelas colaborações do início ao fim deste trabalho.

Aos amigos da Pós Graduação, em especial Joseph Mikael e Risely, companheiros de laboratório e colaboradores na condução do trabalho.

Aos amigos do Futebol Arte ICIAG, pelos momentos de descontração.

A todos que direta ou indiretamente me ajudaram nesta conquista.

## **BIOGRAFIA DO AUTOR**

Fernando Oliveira Franco, filho de Paulo César Franco e Gislaine Aparecida de Oliveira, nasceu na cidade de Uberlândia, MG, no dia 19 de maio de 1987.

Cursou o ensino fundamental e médio no Município de Gurinhatã, MG, na Escola Estadual de Gurinhatã de 1º e 2º Grau, formando-se em 2004.

Em Agosto de 2006 ingressou na Universidade Federal de Uberlândia, para cursar Agronomia, diplomando-se em dezembro de 2010.

Em março de 2011, iniciou, nesta mesma instituição, o Mestrado em Agronomia, pelo Instituto de Ciências Agrárias ICIAG/UFU, na área de Ciências do Solo, hoje obtendo este título.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>ii</b>
<b>INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>1</b>
<b>CAP. 1 - INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA NA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS NO CERRADO BRASILEIRO – REVISÃO.....</b>	<b>3</b>
RESUMO.....	4
ABSTRACT.....	5
INTRODUÇÃO.....	6
REVISÃO DE LITERATURA.....	7
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	16
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	17
<b>CAP. 2 - ADUBAÇÃO FOSFATADA NA RECUPERAÇÃO DO SOLO E PRODUTIVIDADE DA SOJA EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA.....</b>	<b>21</b>
RESUMO.....	22
ABSTRACT.....	23
INTRODUÇÃO.....	24
MATERIAL E MÉTODOS.....	25
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
CONCLUSÕES.....	42
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43
<b>CAP. 3 - SISTEMAS AGROSSILVIPASTORIS E DIFERENTES FONTES DE FÓSFORO NA MELHORIA DA QUALIDADE DO SOLO.....</b>	<b>47</b>
RESUMO.....	48
ABSTRACT.....	49
INTRODUÇÃO.....	50
MATERIAL E MÉTODOS.....	51
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	55
CONCLUSÕES.....	65
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>70</b>

## RESUMO

FRANCO, F. O. **Fontes de fósforo na implantação de sistema integração Lavoura-Pecuária-Floresta: atributos físicos do solo, matéria orgânica e produtividade da soja.** 2013. 70 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

**Resumo** – O solo é um sistema complexo passível de degradação, sendo esta um processo evolutivo, que inicia-se com a conversão de sistemas naturais em sistemas produtivos. Hoje, objetivando a não degradação dos sistemas naturais, os sistemas produtivos estão sob um contínuo avanço na busca da sustentabilidade. A nova realidade requer um modelo de produção baseado na inter e transdisciplinaridade, que busque alternativas às práticas e métodos ainda utilizados, buscando menor custo de produção. E isso só é possível por meio da pesquisa e inovação que podem incorporar parâmetros ambientais de sustentabilidade nos sistemas produtivos atualmente existentes. Mas para isso, tem que se tornarem relevantes frente aos produtores. Nessa perspectiva, objetivou-se estudar algumas práticas sustentáveis, como os sistemas agrossilvipastoris, e diferentes fontes de adubos fosfatados como opções para a manutenção da produção agrícola e melhoria da qualidade do solo. Um segundo objetivo foi formar um banco de dados sobre características do solo e produção destes sistemas, para uma futura comparação. O experimento foi realizado no Município de Uberlândia MG, na safra agrícola de 2011/2012. Foram instalados e conduzidos um sistema iLPF (integração Lavoura-Pecuária-Floresta) com diferentes adubações realizadas na cultura da soja em consórcio com o eucalipto, assim como um sistema Silvistoril (SS) entre a *Brachiaria decumbens* e o eucalipto. Com os resultados obtidos, concluiu-se que os sistemas iLPF e o sistema SS são práticas sustentáveis e são opções para a incorporação de áreas degradadas ou subutilizadas ao processo produtivo. Da mesma forma que a adubação fosfatada com a fonte Organomineral favoreceu a melhoria da qualidade ambiental dos solos em recuperação. No entanto, é necessário o estudo das características do solo e produtividade dos componentes, nos anos subsequentes, para uma avaliação do real benefício ao solo causado pelos sistemas agrossilvipastoris e pela adubação fosfatada com diferentes fontes de fósforo.

**Palavras Chave:** Degradação do solo. Sustentabilidade. Agrossilvipastoris. Adubação Organomineral.

---

<sup>1</sup>Comitê Orientador: Beno Wendling – UFU (Orientador) e Carlos Juliano Brant Albuquerque – EPAMIG (Co-orientador).

## ABSTRACT

FRANCO, F. O. **Sources of phosphorus in the formation of an integration Crop-Livestock-Forests system: soil physical attributes, organic matter and soybean yield.** 2013. 70 f. Dissertation (MSc in Agronomy) - Institute of Agricultural Sciences, Federal University of Uberlândia, 2013.

**Abstract** - The soil is a complex system susceptible to degradation. Its degradation is an evolutionary process, starting with the conversion of natural systems into production systems. Currently, in search of non-degradation of natural systems, production systems are under continuous advancement in the quest for sustainability. The new reality requires a production model based on inter-and transdisciplinarity, which looks for alternatives for the practices and methods still used, aiming at lower production cost. This is possible only through research and innovation that can incorporate environmental sustainability parameters into production systems that currently exist. However, such parameters have to become relevant for the producers. From this perspective, this study analyzed how some sustainable practices, such as agroforestry systems, and different sources of phosphate fertilizers as options for maintaining agricultural production and improving soil quality. Also, this study built a database on soil characteristics and production of these systems for future use. The experiment was conducted in Uberlândia-MG, in the season of 2011/2012. A ICLF (integration Crop-Livestock-Forest) system was set and conducted with different fertilizations on soybean intercropped with eucalyptus, as well as a silvipastoral system (SS) between *Brachiaria decumbens* and eucalyptus. It can be concluded that the systems ICLF and SS are sustainable practices, and are good options for incorporating underutilized or degraded areas into the production process. Similarly, the organomineral source of phosphorus improved the environmental quality of soils under recovery. However, it is necessary to study the characteristics of the soil and yield components in subsequent years for an evaluation of the real benefit to the soil caused by agroforestry systems and phosphorus fertilization with different sources of phosphorus.

**Keywords:** Soil Degradation. Sustainability. Agrosilvipastoral. Organomineral Fertilization.

---

<sup>1</sup>Supervising Committee: Beno Wendling – UFU (Major Professor) and Carlos Juliano Brant Albuquerque – EPAMIG

## INTRODUÇÃO GERAL

É preciso reconhecer a capacidade limitada da terra. O planeta é um sistema socioambiental que apresenta restrições para responder de maneira elástica às pressões e estresses sobre os recursos naturais. É passível de degradação.

A degradação é um processo evolutivo, com início na conversão de sistemas naturais em sistemas antropizados. O ponto chave ocorre na abertura de novas áreas para a incorporação aos sistemas produtivos.

Na década de 70, a expansão da fronteira agrícola sobre o Bioma Cerrado no Brasil era uma necessidade. Hoje, na busca de proteger os remanescentes desse Bioma, a legislação brasileira impõe uma das legislações ambientais mais rígidas do mundo.

A necessidade de superar esse fato rendeu ao Brasil posição de destaque em desenvolvimento de ciência e tecnologia aplicadas à produção agrícola. Porém, existem problemas antigos e atuais que não foram totalmente solucionados. A solução está em produzir alimentos e energia acessíveis, considerando a biocapacidade do planeta. O que não se verifica com o modelo agrícola atual.

A agricultura advinda da revolução verde está a cada dia encontrando desafios. A mesma é fundamentada no conhecimento de áreas isoladas, e isso faz com que o modelo passe por dificuldades, devido à nova realidade, traduzida na escassez cada vez maior de recursos naturais e na crescente demanda de alimentos e energia barata.

A nova realidade requer um modelo de produção baseado na inter e transdisciplinaridade, que busque compreender e aperfeiçoar as sinergias decorrentes de sistemas integrados, assim como alternativas às práticas e métodos ainda utilizados, buscando menor custo de produção.

Para isso, a pesquisa e inovação é a chave para expansão sustentável da agricultura. O conhecimento advindo da pesquisa é como se fosse um *chip*, podendo ser inserido em qualquer atividade, desde que tenham relações. Consequentemente, parâmetros ambientais de sustentabilidade, assim que descobertos pela pesquisa, poderão ser incorporados aos sistemas de produção. Mas para isso, tem que se tornarem relevantes frente aos produtores.

Portanto, se torna importante a pesquisa em recuperação de áreas degradadas; integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF); sistema de Plantio Direto (PD); fixação biológica de Nitrogênio (FBN); florestas plantadas, tratamento de dejetos, etc., buscando alternativas para uma agricultura sustentável.

Nessa perspectiva, objetivou-se estudar algumas práticas sustentáveis que serão opções para a manutenção da produção agrícola para as novas gerações. Formar um banco de dados sobre características do solo e da produção destes sistemas, com o intuito de haver uma comparação ao final do ciclo do sistema iLPF (7 anos), sobre os ganhos ambientais, sociais e econômicos.

**CAPÍTULO 1: INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA NA  
RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS NO CERRADO BRASILEIRO -  
REVISÃO**

## RESUMO

### INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA NA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS NO CERRADO BRASILEIRO - REVISÃO

**Resumo** - A degradação do solo é um problema grave e frequente nos solos do Cerrado brasileiro, evidenciado pela perda da sustentabilidade agrícola nestas regiões. A sustentabilidade dos sistemas fundamenta-se na biodiversidade, ciclagem de nutrientes e no fluxo de energia. Essas premissas fazem do sistema agrossilvipastoril um sistema sustentável de produção. Sistemas integrados, como esse, trazem benefícios no incremento da fertilidade dos solos, aumento da atividade biológica, melhoria da qualidade física do solo, etc. Sendo assim, tornam-se alternativas importantes para a sustentabilidade no Cerrado brasileiro. Neste contexto, essa revisão tem como objetivo mostrar como o sistema iLPF (integração Lavoura-Pecuária-Floresta) pode contribuir para a recuperação de áreas degradadas no Cerrado brasileiro. O sistema iLPF é uma alternativa para a não abertura de novas áreas no Cerrado, além de ser promissora para a recuperação e renovação de pastagens e áreas degradadas, visto que melhora as características químicas, físicas e biológicas do solo, além do benefício econômico com a geração de renda e diversificação da atividade agrícola na propriedade rural.

**Palavras chave:** Recuperação do solo. Sustentabilidade. Sistemas agrossilvipastoris.

## **ABSTRACT**

### **INTEGRATED CROP-LIVESTOCK-FOREST IN RESTORATION OF DEGRADED AREAS IN BRAZILIAN SAVANNA – A REVIEW**

**Abstract** - Soil degradation is a serious and common problem in Brazilian Cerrado soils. It is noticed by the loss of agricultural sustainability in these regions. The sustainability of systems is based on biodiversity, nutrient cycling and energy flow. These assumptions make the agrosilvipastoral system a sustainable production system. Integrated systems like this are beneficial for improving soil fertility, increasing biological activity, improving soil physical quality etc. Thus, it is an important alternative for sustainability in the Brazilian Cerrado. In this context, the present review demonstrates how the ICLF (integration Crop-Livestock-Forest) system can contribute to the recovery of degraded areas in the Brazilian Cerrado. The ICLF system is an alternative to opening new areas in the Cerrado, and is promising for the recovery and renewal of pastures and degraded areas, since it improves the chemical, physical and biological soil characteristics. Besides the economic benefit, with income generation, it is a diversification of agricultural activities in the farm.

**Keywords:** Soil recovery. Sustainability. Agroforestry systems.

## INTRODUÇÃO

A degradação do solo é um dos problemas mais graves que a população mundial está enfrentando. Conforme Kobiyama et al. (2001), as principais causas desta degradação tem sido o desmatamento, o manejo inadequado da agricultura, o superpastejo, a exploração da vegetação para combustível e a atividade industrial. Não é de se espantar que isso ocorra frequentemente no cerrado brasileiro.

O cerrado é hoje o principal produtor de grãos e carnes do Brasil, o mesmo ocupa aproximadamente 25% do território brasileiro, destes, 57% (aproximadamente 116 milhões de ha) já foram substituídos pela agropecuária e 26,5% estão ocupados com pastagem, destas pastagens, 80% estão sob algum processo de degradação (SANO et al., 2008).

A degradação no Cerrado tem alterado seu perfil, resultando em áreas desmatadas, compactação do solo, erosão, assoreamento de rios, contaminação da água subterrânea, perda de biodiversidade, etc., refletindo em todo o ecossistema, inclusive na produção agrícola e pecuária (insustentabilidade agrícola).

A sustentabilidade dos sistemas ecológicos fundamenta-se na biodiversidade, ciclagem de nutrientes e no fluxo de energia. Um sistema muito eficiente na utilização de energia é o sistema agrossilvipastoril o qual se baseia na integração de culturas, com animais, que buscam aumentar a eficiência de uso da terra, diversificar a produção agrícola e melhorar a utilização do solo, da água e do ambiente (DANIEL et al., 1999), possibilitando agregar valor às áreas de produção e melhorar o equilíbrio entre os componentes solo-planta-animal.

O componente florestal é um dos constituintes do sistema agrossilvipastoril. No Cerrado brasileiro, surgiu com importância a partir da década 70, quando a atividade florestal plantada teve expressividade no Brasil (SILVA, 2008).

Há uma grande controvérsia no que diz respeito aos maciços florestais. Grande parte dos pesquisadores considera que as florestas plantadas tenham um efeito benéfico no sequestro de carbono, principalmente porque são mantidas durante seu máximo crescimento (JUVENAL; MATTOS, 2002).

Por outro lado, o monocultivo de espécies florestais causa perda excessiva, da biodiversidade local, modifica o substrato para a biota do solo, alterando por sua vez o atributo biológico do solo (BARETTA et al., 2003), assim como os atributos físicos e químicos.

Uma alternativa para minimizar o problema do monocultivo de espécies florestais é fazer a junção deste componente com a integração lavoura-pecuária. É então que surge o sistema de integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF).

O uso de sistemas integrados traz benefícios no incremento da fertilidade do solo, aumento da atividade biológica, melhoria da qualidade física do solo, controla pragas, doenças, plantas infestantes, além de proporcionar maior bem estar animal, devido à presença de sombras, temperaturas mais amenas e proteção contra a chuva e ventos. Desta forma, é uma alternativa importante para a sustentabilidade no Cerrado brasileiro.

Neste contexto, essa revisão tem como objetivo mostrar como o sistema iLPF pode contribuir para a recuperação de áreas degradadas no Cerrado brasileiro.

## **REVISÃO DE LITERATURA**

### **Cerrado brasileiro e degradação do solo**

O cerrado brasileiro é o segundo maior bioma brasileiro, ocupando aproximadamente 25% da extensão territorial do país (SILVA, 2010). Está presente em 12 estados brasileiros sendo eles: Roraima, Tocantins, Maranhão, Piauí, Bahia, Minas Gerais, São Paulo, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Goiás, Paraná, e Distrito Federal (BRASIL, 2010).

São aproximadamente 204 milhões de hectares, destes cerca de 115 milhões já foram alterados pela agropecuária (SANO et al., 2008), estão suscetíveis a degradação ou já estão degradados devido a ação humana.

As pastagens plantadas com gramíneas de origem africana cobrem atualmente 50 milhões de ha. Monoculturas diversas são cultivadas em outros 10 milhões de ha, e como área total de conservação, resta apenas 3,3 milhões de ha, claramente insuficiente quando comparada com os principais usos da terra no Cerrado (KLINK; MACHADO, 2005). Estes números nos mostram a importância de se atuar no Cerrado recuperando áreas degradadas, para que não se tenha mais a alteração de áreas remanescentes.

Os remanescentes de Cerrado desenvolveram-se sobre solos muito antigos, intemperizados, ácidos, com pouca disponibilidade de nutrientes e que possuem concentrações elevadas de alumínio (KLINK; MACHADO, 2005), condições estas que não suportam altas produtividades sem que haja intensificação do uso do solo.

O processo de degradação do solo no Cerrado iniciou devido o modelo de exploração agrícola que se estabeleceu no mesmo (CUNHA et al., 2008). Foi adotado o padrão de produção com abertura de um extenso mercado de máquinas, implementos, sementes e insumos agroquímicos (MAROUELLI, 2003), o que possibilitou a alta produção em solos pobres do Cerrado, porém, foi o pontapé para sua degradação.

Esse padrão de produção fundamentava-se no aumento de produtividade e menor dependência de mão-de-obra, utilizando um pacote tecnológico de fertilização dos solos, para semear extensas áreas com uma só cultura, através de maquinários modernos e pesados. Portanto, a pobreza dos solos não constituiu obstáculo e, por outro lado, a pouca declividade e a grande profundidade do perfil dos Latossolos (RAMALHO FILHO; BEEK, 1994) foram fatores imprescindíveis para a ocupação de grandes extensões de terra pela agricultura moderna, em especial para a cultura da soja e pastagens plantadas no Cerrado (KLINK; MACHADO, 2005).

O grande problema é que este padrão produtivo não deu a devida importância para a capacidade dos solos. E como consequências se tem hoje problemas como erosão, perda de fertilidade dos solos, destruição de floresta, perda do patrimônio genético e biodiversidade, contaminação dos solos e da água.

De acordo com Rodrigues (2002), em plantios de soja feitos com a utilização do revolvimento do solo, há em média uma perda de 25 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> da camada superficial do solo devido à erosão. Um aspecto que também deve ser considerado é que a cultura da soja demanda alta tecnologia, que inclui desde o uso de máquinas e implementos agrícolas no preparo do solo, passando pelo uso de sementes de qualidade, até o controle de pragas e plantas infestantes, com fortes riscos de degradação ambiental (CUNHA et al., 2008).

O empobrecimento ecológico do Bioma se deve principalmente à incorporação de extensas áreas para a agricultura comercial, baseada em plantios homogêneos e uso intensivo de agrotóxicos. Também, à exploração pecuária extensiva, ao uso do fogo e às práticas de captação e uso de água na irrigação, ao que se soma uma vigorosa expansão da infraestrutura sem a adoção efetiva de medidas de mitigação dos impactos ambientais (SILVA, 2010).

A exploração da agropecuária, de forma inadequada às condições edafoclimáticas, gera impactos adversos ao meio ambiente, com sérios riscos à produção e à produtividade futura.

Apesar disso, nas áreas de Latossolo, é possível a sustentabilidade agrícola, desde que sejam adotadas técnicas elementares de manejo e de rotação de culturas visando o combate à erosão (MAROUELLI, 2003).

O plantio direto, cuja adoção vem aumentando significativamente, é uma das alternativas para agricultura sustentável no Cerrado. Alternativa outra seria a incorporação do plantio direto a prática de rotação de culturas, que é um dos principais meios para aumentar a oferta de grãos sem a abertura e a degradação de novas áreas (MAROUELLI, 2003).

É necessário que os recursos naturais envolvidos no processo produtivo agropecuário, como o solo e a água, sejam conservados ou melhorados para dar continuidade aos ciclos produtivos, ou seja, é importante desenvolver uma agricultura sustentável no Cerrado brasileiro e em qualquer outro agroecossistema (SILVA, 2008).

### **Indicadores da degradação do solo**

Geralmente, todo solo quando incorporado ao sistema agrícola tem suas condições físicas, químicas e biológicas modificadas, apresentando normalmente uma tendência a divergir da situação natural com o decorrer do tempo, na maioria das vezes evoluindo para situações negativas ao crescimento de plantas (GOMIDES, 2009).

Em decorrência disto, o contexto econômico, social e ambiental tem causado, nos últimos anos, interesse nos pesquisadores em monitorar a dinâmica do solo em função do seu manejo adotado, pois, para muitos, a gestão sustentável significa estabilidade na produção e rentabilidade (LARSON; PIRCE, 1994), e para isso há de se conhecer a dinâmica do solo.

Um grande problema para se medir a sustentabilidade do solo, ou mesmo seu estágio de degradação, é a falta de parâmetros de comparação, devido aos diferentes fatores ambientais e pedogenéticos, principalmente (LARSON; PIRCE, 1994). Constata-se assim a importância de se utilizar o máximo de variáveis possíveis e relacionáveis umas com as outras, para se ter confiabilidade de como o solo está se comportando.

De maneira geral, os indicadores ideais para indicar a qualidade dos solos devem: representar as propriedades ou funções do mesmo; ser sensíveis às variações em longo prazo do manejo e do clima; permitir, sua medição aprimorada e precisa para diferentes tipos de solo e distintas características edafoclimáticas; e admitir que a

determinação de suas análises possa ser feita em grande número, de modo simples e com baixo custo (SILVA, 2008).

Segundo Chaer (2010), é necessário primeiro realizar a seleção de um conjunto mínimo de propriedades físicas, químicas e/ou biológicas designadas como indicadores de qualidade do solo. Em seguida, deve-se fazer o estudo destas variáveis e por último relacioná-las entre si, para se ter ideia da condição do solo. Quanto maior o entendimento a respeito da qualidade do solo, melhor será o planejamento para seu bom funcionamento no presente, sem este se tornar degradado no futuro (SILVA, 2008).

Os microrganismos têm a capacidade de dar respostas rápidas às modificações ocorridas no solo, contudo os parâmetros biológicos isoladamente não são suficientemente eficazes para avaliar a qualidade de um solo (SILVA, 2008). Entretanto, as informações geradas através dos atributos biológicos, físicos e químicos em conjunto podem identificar e caracterizar sistemas agrícolas sustentáveis. Como exemplo, a disponibilidade de nutrientes, Carbono Orgânico Total (COT), Carbono Orgânico Lável (COL), estrutura do solo, profundidade de enraizamento, pH, condutividade elétrica do solo (LARSON; PIRCE, 1994), bioindicadores como atividade enzimática, evolução de CO<sub>2</sub>, dentre outros (SILVA, 2008).

### **Sistemas agrícolas e sustentabilidade**

Verifica-se nos últimos anos uma intensificação das atividades agrícolas, sendo constatada pela redução da área utilizada com pastagens naturais. Esta intensificação representa aumento de produção por unidade de área, o que reduz a pressão sobre o solo. No entanto, causa aumento no uso de fertilizantes e agrotóxicos, redução de variedades e cultivares em uso, gerando pressões sobre a agricultura familiar, importante geradora de emprego e renda (BRASIL, 2010), e esses fatores, com exceção do aumento da produtividade, estão na contra mão da sustentabilidade.

O conceito de desenvolvimento sustentável no Brasil foi divulgado em 1987 pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. "*O desenvolvimento sustentável é aquele que satisfaz as necessidades da geração presente sem comprometer as possibilidades das gerações futuras em satisfazer as suas necessidades*" (MAROUELLI, 2003).

A partir desse aspecto, verificam-se mudanças significativas estruturais no meio rural e nas práticas adotadas para a produção agrícola, buscando diminuir os impactos da agricultura sobre o meio ambiente (SILVA, 2008).

A sustentabilidade dos sistemas ecológicos fundamenta-se na biodiversidade, ciclagem de nutrientes e no fluxo de energia. Portanto, para ter sustentabilidade agrícola, é necessário o uso do maior número de espécies vegetais em um mesmo cultivo e/ou sucessão, manterem altos níveis de matéria orgânica com alta diversidade da vida no solo, e ser o mais eficiente possível na utilização de água, luz e nutrientes (NICODEMO et al., 2004).

Sistemas de produção agrícola sustentáveis fundamentam-se em rotações de culturas, restos culturais de lavouras, esterco animal, adubação verde e utilização de técnicas que maximizem a atividade biológica pelo incremento de matéria orgânica no solo (SILVA, 2008), que são as bases do sistema de iLPF.

### **Sistema de integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF)**

Os sistemas agrossilvipastoris consistem em cultivos agrícolas, pastagens e/ou animais e árvores (DANIEL et al., 1999), obtendo maior aproveitamento da área. Este sistema é também uma forma de integração e rotação de culturas em que o componente arbóreo, herbáceo (cultura anual e forrageira) e o animal se encontram presentes numa forma de uso simultâneo ou escalonado. Tem crescido muito nos últimos anos devido, principalmente, aos vários benefícios gerados com o mesmo.

Dentre estes benefícios estão: a recuperação e manutenção das características produtivas do solo, diversificação de produtos e obtenção de maiores rendimentos por área, redução de pragas das diferentes espécies cultivadas e conseqüentemente redução da necessidade de defensivos agrícolas, bem como a redução da erosão e maior biodiversidade, em comparação aos monocultivos.

Estes sistemas agrossilvipastoris possibilitam a recuperação de pastagens degradadas e o estabelecimento de pastos com boa produtividade e valor nutritivo. Ampliam o tempo de disponibilidade de forragem verde para os animais durante o ano e promovem ambiente mais favorável aos animais, o que reflete em ganhos na produção animal e conseqüentemente, melhora a distribuição de renda, produção de alimentos, geração de tributos, de empregos diretos e indiretos, além da maior possibilidade de fixação do homem no campo.

De acordo com Young (1994), muitos destes benefícios são promovidos devido à interações do sistema de iLPF com os recursos ambientais, principalmente ao micro clima (luz, umidade do ar, temperatura e vento) e ao solo (fertilidade e erosão).

No que se refere ao componente florestal, é importante destacar que: a espécie florestal deve apresentar bom crescimento, fuste alto, copa pouco densa, capacidade de fornecer nitrogênio e nutrientes à pastagem, adaptação ao ambiente, tolerância à seca, ausência de efeitos tóxicos sobre os animais, capacidade de fornecer sombra e abrigo, controle da erosão, resistência a pragas, a doenças e a adversidades climáticas, além de possuir um valor econômico satisfatório (CARVALHO et al., 2001; NICODEMO et al., 2004). O eucalipto é uma opção viável, devido à sua rusticidade, ao elevado crescimento, a boa aceitação e ao valor no mercado.

Um grande diferencial nos sistemas iLPF é que o arranjo das linhas de árvores é determinado levando em consideração o espaço necessário para o plantio de culturas e seus tratos culturais (SOARES et al., 2009).

A procura por celulose na região do cerrado brasileiro tem incentivado o plantio de árvores em fileiras duplas ou triplas, espaçadas de 8 a 14 metros, dependendo do interesse do proprietário, aumentando a possibilidade de integração com a agricultura e a pecuária, e a diversificação de renda do produtor rural (MACEDO, 2009).

De acordo com Nicodemo et al. (2004), a escolha de espécies adequadas à região e ao propósito que se deseja é fundamental para o sucesso dos sistemas agroflorestais.

Com relação à forrageira e aos animais que nela pastejam, vale ressaltar que bovinos e/ou ovinos em plantações de eucalipto não reduzem o crescimento/sobrevivência das árvores, reduzem o risco de incêndios e a necessidade de capinas, além de contribuírem para diminuir o custo de manutenção das árvores. A venda destes bovinos prevê também ganhos adicionais em tempo menor, considerando-se que uma floresta traria retornos geralmente a partir do sexto ano, dependendo da espécie (NICODEMO et al., 2004).

Aconselha-se a utilização de forrageiras de bom crescimento, elevado valor nutricional, grande capacidade de perfilhamento e, sobretudo, adaptadas às condições de sombreamento, a fim de obter um bom estande de plantas no pasto e alta produtividade de carne e leite (RAKOCEVIC; RIBASKI, 2003). Nos sistemas iLPF, a pastagem é rapidamente formada devido principalmente ao aproveitamento do fertilizante da cultura agrônômica e/ou florestal, resultando normalmente em maior produtividade por área e melhor qualidade nutricional do pasto.

Considerando a cultura de grãos a ser utilizada no sistema, verifica-se que suas contribuições para com o mesmo são praticamente as mesmas que se verifica no sistema de iLP, ou seja, recuperação da fertilidade do solo com a lavoura em áreas de pastagens degradadas (GIMENES, et al., 2010).

Quando se combinam espécies anuais e perenes, há um efeito sinérgico na produtividade e nas condições do solo, refletindo na utilização mais eficiente dos nutrientes disponíveis, no melhoramento das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, reduzindo os riscos econômicos e ambientais, comuns nos monocultivos (LAL, 1991).

O sucesso da disseminação e implantação de sistemas agroflorestais depende de uma série de fatores, entre eles tecnologia apropriada, disponibilidade de mudas de boa qualidade, e disseminação da informação e assistência técnica na implantação e desenvolvimento do sistema (SALAM et al., 2000).

### **Resultados obtidos com o sistema iLPF**

Os sistemas agrossilvipastoris, que integram atividades agrícolas, pecuárias e florestais, no Brasil, são considerados inovadores. Embora vários tipos de plantios associados entre culturas anuais e culturas perenes ou entre frutíferas e árvores madeireiras sejam conhecidos na Europa desde a antiguidade (BALBINO et al., 2011).

Historicamente, a introdução deste sistema no Brasil ocorreu com imigrantes europeus, e o que impulsionou o avanço tecnológico deste sistema foi a busca por alternativas que revertesse o processo de degradação dos solos no final da década de 1970. Iniciou com as práticas conservacionistas, com o objetivo de diminuir a erosão do solo, posteriormente, surgiu o sistema plantio direto até chegar aos sistemas agrossilvipastoris, nas décadas de 80 e 90.

As primeiras pesquisas foram com “Sistema Barreirão”, composto por um conjunto de tecnologias e práticas de recuperação de áreas degradadas, embasadas no consórcio arroz-pastagem (KLUTHCOUSKI et al., 1991).

Os primeiros resultados práticos foram obtidos por Kluthcouskiet al. (1991), na Fazenda Barreirão, Piracanjuba – GO, de propriedade do Dr. Augusto Gontijo, no ano agrícola de 1988 e 1989. Eles observaram que:

*“além do lucro obtido com o arroz nos dois primeiros anos, a associação arroz-pasto possibilitou a manutenção e ganho de peso vivo durante todo o ano, aumento da*

*produção de leite, diminuição da taxa de mortalidade e aumento da natalidade do rebanho, mesmo no período da seca, além da redução acentuada de plantas daninhas e cupins”.*

No final dos anos 1990, surgiram propostas que envolviam o uso de sistemas mais completos, como rotação lavoura-pastagem, para produção de grãos, produção de forragem para a entressafra e acúmulo de palhada para o sistema de Plantio Direto (BALBINO et al., 2011), integração lavoura-floresta, floresta-pastagem e também lavoura-pastagem-floresta.

Os sistemas integrados como iLPF promovem o desenvolvimento sustentável, já que combinam produção (alimentos, madeira, lenha, forragem, plantas medicinais e fibras) com a conservação dos recursos naturais (solos, microbacias, áreas florestais, biodiversidade, entre outros) (NICODEMO et al., 2004), e essas combinações trazem benefícios mútuos para as atividades.

O pastejo pode causar melhoria na fertilidade do solo em razão do acúmulo de matéria orgânica e da alteração na ciclagem de nutrientes. Segundo Flores et al.(2008), o pastejo causa mudanças positivas na acidez do solo, porém com diferentes intensidades, causando mudanças no pH (H<sub>2</sub>O) do solo até uma profundidade de 12,5 cm, no Ca trocável até 25 cm, no Mg trocável até 5,0 cm e na saturação por bases na camada de 2,5 a 5,0 cm.

*“Em áreas com integração lavoura-pecuária, os animais promovem um aumento da complexidade da dinâmica da correção da acidez, em função do pisoteio (alteração de atributos físicos do solo), do pastejo (afeta a biomassa vegetal sobre o solo) e dos excrementos (adiciona ligantes orgânicos)”.*

Sharrow e Ismail (2004) concluíram que há uma maior produção de biomassa no sistema agroflorestal do que em uma pastagem e um plantio florestal com 11 anos de idade.

No que se refere a benefícios econômicos, o sistema silvipastoril apresenta um déficit em relação ao convencional nos primeiros 5 anos, onde o convencional totaliza uma renda líquida de aproximadamente US\$ 4.000,00, em detrimento aos US\$ 3.360,00 obtidos no sistema silvipastoril. Porém, em um ciclo de vinte anos, tem-se uma vantagem de aproximadamente US\$ 5.000,00 a favor do sistema silvipastoril, além do benefício ambiental. Vale ressaltar que no sistema iLPF não ocorre essa diferença nos primeiros cinco anos, pois a lavoura gera renda, compensando a não utilização com a pecuária (PAGIOLA et al., 2004).

O desenvolvimento de sistemas de uso da terra mais diversificados e equilibrados, menos dependentes de insumos externos e com maior longevidade produtiva é uma necessidade na região Sudeste. Na pecuária, os sistemas silvipastoris têm potencial de substituir com vantagens os atuais ecossistemas de pastagens cultivadas, que em sua grande maioria são constituídos por monoculturas de gramíneas forrageiras, tornando, assim, a atividade ainda mais sustentável econômica e ambientalmente (FRANKE et al., 2001).

Em sistemas silvipastoris constituídos por eucaliptos e gramíneas forrageiras tropicais, há queda acentuada na produtividade do sub-bosque alguns anos após o seu estabelecimento (NICODEMO, 2005). As principais causas de redução na produtividade da forrageira são o aumento do nível de sombreamento, e, também, à redução da disponibilidade de nitrogênio no solo, induzida, provavelmente, pela baixa qualidade da liteira produzida pelo eucalipto.

Ainda em relação aos benefícios dos sistemas de produção integrados, pastagens e culturas anuais, o estudo de caso relatado por Vilela et al. (2001) é uma evidência do potencial do sistema adotado pela Fazenda Santa Terezinha, em Uberlândia, MG. Essa propriedade desenvolveu atividade de cria e possuiu uma área, no ano de 1983, de 1014 hectares de pastagem e rebanho de 1094 cabeças (lotação de 1,1 cabeças/ha). A partir de 1985, a propriedade passou a destinar áreas de pastagens para a produção de grãos até atingir, no ano de 1996, a totalidade da área com um ou mais ciclos de lavoura. Em 1996, a área destinada à pastagens representava 36% da área total e as demais, à agricultura de grãos. O rebanho era de 1200 cabeças, com uma lotação três vezes superior à taxa inicial. Isso foi o reflexo da recuperação da fertilidade do solo, associado ao uso de gramíneas com maior potencial de produção de forragem. Nessa propriedade, como exemplo dos benefícios nas características física do solo, foi observado que a porcentagem de agregados estáveis em água com diâmetros maiores do que 2,0 mm, nas pastagens após cultura, era de 89%, enquanto nas áreas cultivadas com soja por um e quatro anos, esses valores reduziram, respectivamente, para 66% e 46%.

Diante dos impactos causados pela produção agropecuária, os sistemas silvipastoris têm sido cogitados pelo fato das árvores bombearem nutrientes e água das camadas mais profundas para as superficiais e facilitarem a regeneração dos recursos naturais, como a fertilidade do solo (SINGH, 2000). Estima-se que um hectare de sistema silvipastoril proveria a mesma quantidade de bens e serviços de 5 a 20 ha de áreas desmatadas (DIXON, 1995).

Quando se pensa em implantação de sistemas agroflorestais, existem diversas modalidades, de acordo com Nepomuceno e Silva (2009). No estado do Paraná, do total de propriedades avaliadas, foram identificados 74,4% de Sistemas Silvopastoris (SS) organizados, isoladamente, na modalidade “renques em nível com linha simples”, a modalidade “bosquetes” foi observada em 11,6% das propriedades. Do ponto de vista florestal, o “bosquete” é uma modalidade com grande potencial de exploração madeireira e de manejo sustentado em SS, pois possibilita a rotação em talhões de diferentes idades, potencializando, assim, a produção sustentável de madeira. O plantio em “renques simples” (sem orientação definida) e “renques em nível com linha dupla” foi identificado em 4,7% das propriedades. Ainda este autor, com relação às espécies mais utilizadas, indicou que o estabelecimento com plantio monocultural de Eucalipto (*Eucalyptus* sp.), combinado com outros gêneros de árvores, totalizou 55,8% em relação ao número de ocorrências nas propriedades.

### **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O sistema de integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF) é:

- uma alternativa para a não abertura de novas áreas no cerrado brasileiro para produção agrícola;
- Um sistema promissor para a recuperação e renovação de pastagens e áreas degradadas;
- Um sistema que promove benefício econômico com geração de renda e diversificação da atividade agrícola na propriedade;
- Uma alternativa que demanda planejamento e dedicação, respeitando as características individuais das necessidades da floresta, da lavoura e da pecuária.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; MORAES, A. de; MARTÍNEZ, G. B.; ALVARENGA, R. C.; KICHEL, A. N.; FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P. dos; FRANCHINI, J. C.; GALERANI, P. R. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.10, p.i-xii, 2011.
- BARETTA, D.; SANTOS, J. C. P.; MANFROI, A. F.; TASCA, F. A.; DOMINGOS, M. D.; KLAUBERG-FILHO, O.; MAFRA, A. L. Diversidade da fauna edáfica em mata nativa, floresta de pinus e campo nativo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 29, 2003, Ribeirão Preto. **Resumos expandidos**. Ribeirão Preto: SBCS/UNESP, 2003. p.1 a 4.
- CARVALHO, M. M.; XAVIER, D. F.; ALVIM, M. J. **Características de algumas leguminosas arbóreas adequadas para a associação com pastagens**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2001. 24 p. (Circular Técnica, 64).
- CHAER, G. M. Métodos de integração de indicadores para avaliação da qualidade do solo. In: PRADO, R. B. **Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais**. 1. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010. 486 p.
- CUNHA, N. R. S.; LIMA, J. E.; GOMES, M. F. M.; BRAGA, M. J. A Intensidade da Exploração Agropecuária como Indicador da Degradação Ambiental na Região dos Cerrados, Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v.46, n.2, p.291–323, 2008.
- DANIEL, O.; COUTO, L.; GARCIA, R.; PASSOS, C. A. M. Proposta para padronização da terminologia empregada em sistemas agroflorestais no Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v.22, n.3, 1999.
- DIXON, R.K. Agroforestry: sources or sinks of greenhouse gases? **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v.31, n.2, p. 99-116, 1995.
- FLORES, J.P.C.; CASSOL, L.C.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.C. de F. Atributos químicos do solo em função da aplicação superficial de calcário em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a pressões de pastejo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p. 2385–2396, 2008.
- FRANKE, I.L.; LUNZ, A.M.P.; VALENTIM, J.F.; AMARAL, E.F.; MIRANDA, E.M. Situação atual e potencial dos sistemas silvipastoris no Estado do Acre. In: CARVALHO, M.M.; ALVIM, M.J.; CARNEIRO, J.C. **Sistemas agroflorestais pecuários: opções de sustentabilidade para áreas tropicais e subtropicais**. Juiz de Fora: Embrapa-CNPGL; FAO, p. 19-40, 2001.
- GIMENES, M. J.; DAL POGETTO, M. H. F. do A.; PRADO, E. P.; CRISTOVAM, R. de S.; SOUZA, E. de F. C. de. Integração lavoura-pecuária – breve revisão. **Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas**, Chapadinha, v.4, n.1, p.52-60, 2010.

GOMIDES, J. N. **Atributos físicos de Latossolo Vermelho cultivados com cana-de-açúcar e adubado com dejetos de animais de criação intensiva.** 2009. 96 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – ICIAG. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2009.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Indicadores de Desenvolvimento Sustentável – Brasil 2010. **Estudos e Pesquisas Informação Geográfica**, Rio de Janeiro, n. 7, 443 p. 2010.

JUVENAL, T. L.; MATTOS, R. L. G. O setor florestal no Brasil e a importância do reflorestamento. **Setor Florestal-BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n.16, p.3–30, 2002.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, Belo Horizonte, v.1, n.1, p.147 – 155, 2005.

KLUTHCOUSKI, J.; PACHECO, A.R.; TEIXEIRA, S.M.; OLIVEIRA, E.T. de. **Renovação de pastagens do cerrado com arroz: Sistema Barreirão.** Goiânia: Embrapa-CNPAP, 1991. 20p. (Documentos, 33).

KOBIYAMA, M.; MINELLA, L. P. G; FABRIS, R. Áreas degradadas e sua recuperação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.22, n. 210, p.10-17, 2001.

LAL, R. Tillage an agricultural sustainability. **Soil and Tillage Research**. Amsterdan, v.20, p. 133-146, 1991.

LARSON, W. E.; PIRCE, F. J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: DORAN, J. W. et al. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: ASA/SSSA, 1994. p. 37-51.

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

MAROUELLI, R. P. **O desenvolvimento sustentável na agricultura do Cerrado brasileiro.** 2003. 54f. Monografia (MBA em Gestão Sustentável da Agricultura Irrigada). ISAEFGV/ ECOBUSINESS SCHOOL, Brasília, 2003.

NEPOMUCENO, A.N.; SILVA, I.C. Caracterização de sistemas silvipastoris da região noroeste do estado do Paraná, **Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 2, p. 279-287, 2009.

NICODEMO, M. L. F. Sistemas Silvipastoris: árvores e pastagens, uma combinação possível. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA, 2005, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: Zootec2005, 2005. Disponível em: <<<http://saf.cnpqg.embrapa.br/publicacoes/arvoresepastagens.pdf>>>, Acesso em: 01 abr. 2012.

NICODEMO, M. L. F.; SILVA, V. P. da.; THIAGO, L. R. L. de S.; GONTIJO NETO, M. M.; LAURA, V. A. **Sistemas Silvipastoris: Introdução de árvores na pecuária do centro-oeste brasileiro.** Campo Grande: EMBRAPA GADO DE CORTE, 2004. 37p. (Documentos, 146).

PAGIOLA, S.; AGOSTINI, P.; GOBBI, J.; DE HAAN, C.; IBRAHIM, M.; MURGUEITIO, E.; RAMÍREZ, E.; ROSALES, M.; RUÍZ, J. P. Paying for biodiversity conservation services. In: **Environment Department Papers**. Washington: World Bank, 2004. 37p.

RAKOCEVIC, M.; RIBASKI, J. The efficiency of *Brachiaria brizantha* Hochst. Ex A. Rich., in a silvopastoral system in Southern Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE NATURAL AND SOCIO-ECONOMIC EFFECTS OF EROSION CONTROL IN MOUNTAINOUS REGIONS, 2002, Belgrade. **Proceedings...** Belgrade: Faculty of Forestry, 2003. p. 323-332.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K. J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPS. 65p. 1994.

RODRIGUES, W. **Tecnologias agrícolas sustentáveis no Cerrado**. Coleção Centro-Oeste de Estudos e Pesquisas. v. 13. Ministério da Integração Nacional e Universidade Estadual de Goiás, Brasília. 2002.

SALAM, M. A.; NOGUCHI, T.; KOIKE, M. Understanding why farmers plant trees in the homestead agroforestry in Bangladesh. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 50, p. 77-93, 2000.

SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L.; FERREIRA JUNIOR, L. G. Mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, p. 153-156, 2008.

SHARROW, S.H.; ISMAIL, S. Carbon and nitrogen storage in agroforests, tree plantations, and pastures in western Oregon, USA. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 60, n.2, p. 123-130, 2004.

SILVA, L. G. da. **Uso e monitoramento de indicadores microbiológicos para a avaliação da qualidade dos solos de Cerrado sob diferentes agroecossistemas**. 2008.137 f. Dissertação (Mestrado Agronomia) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade Federal de Brasília, Brasília, 2008.

SILVA, J. Considerações sobre a ocupação do Cerrado na microrregião do Sudoeste de Goiás: Modernização Versus Degradação. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, América do Norte, 2010. Disponível em: <<<http://cesumar.br/pesquisa/periodicos/index.php/rama/article/view/1339/1020>>>. Acesso em: 15 jul. 2012.

SINGH, R.B. Environmental consequences of agricultural development: a case study from the Green Revolution state of Haryana, India. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [S.l.], v.82, p.97-103, 2000.

SOARES, A. B.; SARTORI, L. R.; ADAMI, P. R. Influência da luminosidade no comportamento de onze espécies forrageiras perenes de verão. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.38, n.3, p.443 – 451, 2009.

VILELA, L.; AYARZA, M. A.; MIRANDA, J. C. C. Agropastoral systems: activities developed by Cerrados Agricultural Research Center. In: KANNO, T.; MACEDO, M. C. M. **International Joint Workshop on Agropastoral System in South America**. Jircas, 2001. p. 19-33.

YOUNG, A. **Agroforestry for soil conservation**. 3.ed. Nairobi: ICRAF, 276 p. 1994.

**CAPÍTULO 2: ADUBAÇÃO FOSFATADA NA RECUPERAÇÃO DO SOLO E  
PRODUTIVIDADE DA SOJA EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-  
PECUÁRIA-FLORESTA**

## RESUMO

### ADUBAÇÃO FOSFATADA NA RECUPERAÇÃO DO SOLO E PRODUTIVIDADE DA SOJA EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA- PECUÁRIA-FLORESTA

**RESUMO** - As principais causas da degradação do solo tem sido o desmatamento, o manejo inadequado da agricultura, o superpastejo, a atividade industrial, etc. A busca pela produção sustentável pode ser a solução para essa degradação. Portanto, o objetivo desta pesquisa foi avaliar as respostas do Carbono Orgânico Total (COT), do Nitrogênio Total (NT), do Carbono da Biomassa Microbiana (C-Bio), da porosidade, da Densidade (Ds) e da disponibilidade de Fósforo (P) no solo, nas camadas de 0 a 0,1 m e de 0,1 a 0,2 m, em solo degradado, assim como, no desenvolvimento e produtividade da soja de primeiro ano em sistema de integração com eucalipto e fertilizada com diferentes fontes de P. O experimento foi conduzido em um sistema de integração Lavoura Pecuária e Floresta (iLPF), implantado em uma área degradada no Município de Uberlândia MG. A soja foi semeada entre os renques de eucalipto. O delineamento experimental foi em DBC em esquema fatorial 5x2, sendo o primeiro fator composto por diferentes fontes de fósforo (Fosfato Monoamônico (MAP), Super Fosfato Simples (SS), e Termofosfato Magnésiano e Organomineral Formulado (03-20-08) 80% da dose e uma Testemunha. Como segundo fator considerou-se às camadas de solo avaliadas (0 a 0,1 e 0,1 a 0,2 m). Os resultados foram submetidos ao teste de “F” e as médias comparadas, pelo teste de Tukey, a 5% de significância, concluindo-se que o Carbono da Biomassa Microbiana é uma característica bastante variável às alterações causadas pelo manejo do solo e fontes de adubos Fosfatados. Essa adubação fosfatada, mesmo associada com a matéria orgânica, não influenciou a porosidade do solo e densidade em um curto espaço de tempo. Porém, essa associação, possibilitou uma redução de 20% na dose de  $P_2O_5$ , sem prejuízos a cultura.

**Palavras chave:** Fósforo. Organomineral. Carbono da Biomassa Microbiana.

## ABSTRACT

### PHOSPHORUS FERTILIZATION IN SOIL RECOVERY AND SOYBEAN PRODUCTION IN INTEGRATION CROP-LIVESTOCK-FOREST SYSTEM

**Abstract** - The main causes of land degradation has been deforestation, inadequate management of agriculture, overgrazing, industrial activity, etc. The quest for sustainable production can be the solution for this degradation. Therefore, this study evaluated the responses of Total Organic Carbon (TOC), Total Nitrogen (TN), Microbial Biomass Carbon (Bio-C), porosity, density (Ds) and the availability of phosphorus (P) in soil layers from 0 to 0.1 m and 0.1 to 0.2 m in degraded soil, as well as the development and soybean yield in the first year of an integration system with eucalyptus fertilized with different sources of P. The experiment was conducted in an integration Crop-Livestock-Forest (ICLF) system, set in a degraded area in Uberlândia MG. Soybean was sown between the eucalyptus rows. The experimental design was a 5x2 factorial, where the first factor was different sources of phosphorus (Monoammonium Phosphate (MAP), Single Super Phosphate (SS), and thermo phosphate and organomineral Formulated (03-20-08) 80% of dose and a control, while the second factor was soil layers (0 to 0.1 and from 0.1 to 0.2 m). Results were compared using the "F" and the averages were compared by Tukey test at 5% significance. It was concluded that the Microbial Biomass Carbon is a highly variable trait to changes caused by soil management and sources of fertilizers phosphate. This same phosphorus associated with organic matter did not affect soil porosity and density in the short time of the experiment. However, this association enabled a 20% reduction in the dose of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> without losses in the crop.

**Keywords:** Phosphorus. Organomineral. Microbial Biomass Carbon.

## INTRODUÇÃO

O solo tido como um recurso finito está vulnerável aos processos de degradação, e essa é uma das principais preocupações da população. A agricultura através da pesquisa e inovação está constantemente buscando elucidar as causas, os efeitos e as soluções para tal problema.

Conforme Kobiyama et al. (2001), as principais causas desta degradação tem sido o desmatamento, o manejo inadequado da agricultura, o superpastejo, etc., associado à baixa fertilidade natural do solo Cerrado, em especial a deficiência de fósforo decorrente da baixa disponibilidade e alta capacidade de fixação deste nutriente (AZEVEDO et al., 2004).

Para Perez et al. (2005), a solução do problema seria a busca pela produção com alternativas sustentáveis, como a utilização de adubos organominerais, aproveitando dejetos dos sistemas integrados de produção, da fixação de nitrogênio, etc.

De acordo com Tiritan et al. (2010), a adubação organomineral possibilita a redução das doses de fósforo, utilizadas na adubação de plantio. O carregador orgânico ali presente melhora a solubilidade do fósforo e/ou protege o fósforo, inibindo as reações de fixação do elemento com os óxidos de ferro e alumínio do solo (NOVAIS et al., 1980).

Essa melhora ocorre devido à liberação gradativa de nutrientes, a qual reduz processos como lixiviação, fixação e volatilização, embora dependa essencialmente da taxa de decomposição, controlada pela temperatura, umidade, textura e mineralogia do solo, além da composição química do material orgânico utilizado (ZECH et al., 1997).

Adubos orgânicos complementados com fontes de minerais solúveis, também devem ser utilizados visando à melhoria de propriedades físicas e biológicas do solo (RODRIGUES; CASALI, 1999).

Contudo, a hipótese do trabalho é que os carregadores orgânicos presentes no fertilizante organomineral possibilitarão melhorias consideráveis na qualidade do solo e na produtividade da soja.

Portanto, objetivou-se com essa pesquisa avaliar a melhoria da qualidade do solo pelas alterações no Carbono Orgânico Total (COT), no Nitrogênio Total (NT), no Carbono da Biomassa Microbiana (C-Bio), na porosidade, na Densidade (Ds) e na disponibilidade de Fósforo no solo, nas camadas de 0 a 0,1 m e de 0,1 a 0,2 m, em

função da adubação fosfatada, assim como seu efeito na produtividade da soja em fase de implantação do sistema iLPF.

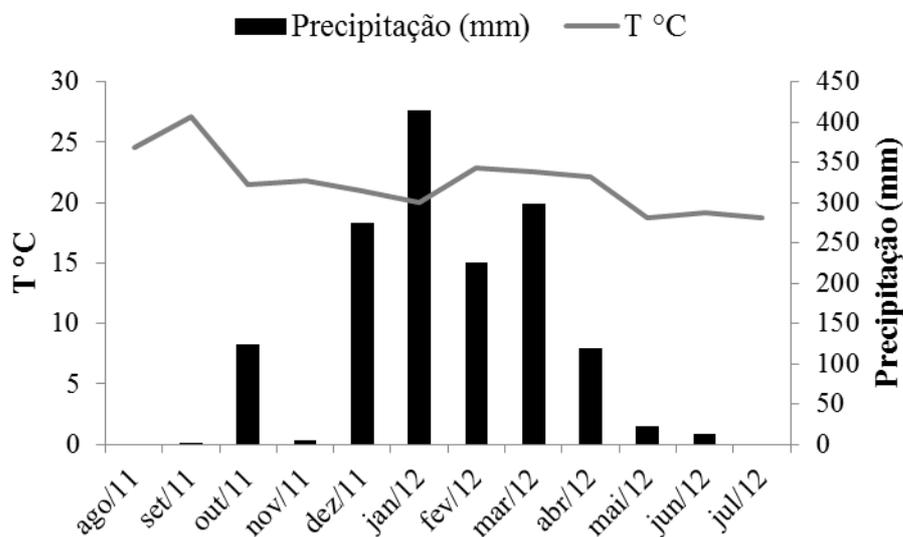
## MATERIAL E MÉTODOS

### Local e Descrição da área experimental

O experimento foi implantado em agosto de 2011 no município de Uberlândia, MG, na Fazenda experimental da EPAMIG, situada nas coordenadas 18°50'S e 48°14'W, e altitude de 785 metros.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, caracterizado como tropical chuvoso, megatérmico, típico de savanas, com inverno seco, com precipitação média de 1550 mm e com temperaturas médias anuais de 23,1 °C (GOMIDES, 2009).

A temperatura e as precipitações ocorridas durante a condução do trabalho estão apresentadas na Figura 1.



**FIGURA 1.** Dados médios de temperatura e precipitação pluvial por mês em Uberlândia MG. Dados obtidos da estação climatológica da Universidade Federal de Uberlândia.

O solo é classificado como Latossolo Vermelho distrófico (EMBRAPA, 1999), de textura média. Os atributos físicos e químicos estão apresentados nas Tabelas 1 e 2 respectivamente.

**TABELA 1.** Atributos físicos do solo, nas camadas de 0-0,2 e 0,2-0,4 m no perfil, Uberlândia, 2011.

Camada	AF	AG	Silte	Argila	Classe Textural
m			g kg <sup>-1</sup>		
0-0,2	420	396	51	133	Arenosa
0,2-0,4	433	362	29	177	Média

AF = Areia Fina; AG = Areia Grossa; Areia, Silte e Argila pelo método NaOH 0,1 mol l<sup>-1</sup>, (EMBRAPA, 1997).

**TABELA 2.** Atributos químicos do solo, nas camadas de 0-0,2 e 0,2-0,4 m no perfil, Uberlândia, 2011.

Camada	pH												
	H <sub>2</sub> O	P	K	Al	Ca	Mg	H+Al	SB	t	T	V	m	MO
m	mg dm <sup>-3</sup>			cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>						%		dag kg <sup>-1</sup>	
0-0,2	4,9	1,1	19	0,5	0,1	0,1	6,7	0,25	0,75	6,95	4	67	1,3
0,2-0,4	4,8	0,7	12	0,4	0,1	0,1	2,2	0,23	0,63	2,43	10	64	0,4

P, K = (HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup>) P disponível (extrator Mehlich-1); Ca, Mg, Al, (KCl 1 mol L<sup>-1</sup>); H+Al = (Solução Tampão – SMP a pH 7,5); SB = Soma de Bases; t = CTC efetiva; T = CTC a pH 7,0; V = Saturação por bases; m = Saturação por alumínio (EMBRAPA, 1997).

### Implantação e condução do experimento

Em agosto de 2011, foi realizada a calagem com incorporação para a elevação da saturação por bases para 70%, utilizando 4,6 Mg ha<sup>-1</sup> de Calcário dolomítico. Em outubro, foi realizada uma nova gradagem com o objetivo de preparar o solo para o plantio, do componente florestal e da soja.

O componente florestal foi formado por mudas clonais (Cultivar A 144), oriundas do cruzamento entre *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*.

As mudas foram plantadas em renques de 100 m de comprimento, espaçados entre si por 20 m e em nível. Cada renque foi composto por três linhas espaçadas entre si por 3 m e 2 m entre plantas. Essa configuração fez com que as árvores ocupassem 30,8% da área de um hectare. A adubação de plantio consistiu na aplicação de 666,66 kg ha<sup>-1</sup> de Termofosfato Magnésiano, equivalendo à 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. As mudas foram imersas no momento do plantio em inseticida com ingrediente ativo a base de

fipronil para o controle de cupins. Para o controle de formigas foram utilizadas iscas formicidas a base de sulfuramida.

A soja (*Glycinemax* (L.) Merr.) cultivar NS 6636 transgênica de ciclo médio foi semeada na primeira semana de dezembro no espaçamento de 0,5 m, inoculadas com o inoculante Glicimax<sup>®</sup>, na dose 150 gramas para 100 kg de semente. A adubação foi feita de acordo com a recomendação para à cultivar, sendo 20-120-60 kg ha<sup>-1</sup> (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O). Como fonte de nitrogênio, foi utilizada a Ureia, e, como fonte de K<sub>2</sub>O, o Cloreto de Potássio. Para suprir a necessidade de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, foram utilizadas quatro diferentes fontes.

As fontes utilizadas foram: Fosfato Monoamônico (MAP), Super Fosfato Simples (SS), e Termofosfato Magnesiano. A quarta fonte utilizada foi o Organomineral Formulado (03-20-08), aplicado 500 kg ha<sup>-1</sup>, correspondendo 80% dos 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> supridos pelas demais fontes. Na Testemunha, não foi feita adubação de plantio.

De acordo com Tiritan et al. (2010), a adubação organomineral pode ser reduzida em até 20%, sem que haja prejuízos ao desenvolvimento da cultura. O fertilizante Organomineral formulado foi obtido por um processo de enriquecimento da matéria orgânica presente na cama de aviário com fertilizantes minerais, para que chegasse a um teor de nutrientes desejável. Sua caracterização encontra-se na Tabela 3. Após o enriquecimento com as fontes minerais, o mesmo foi peletizado.

**TABELA 3.** Caracterização química e física do Organomineral Formulado (03-20-08), Uberlândia, 2011.

Determinações	Base Úmida
Ph em CaCl <sub>2</sub>	5,52
Densidade (g cm <sup>-3</sup> )	0,81
Umidade perdida entre 65 e 110°C (%)	9,90
Matéria Orgânica Total (combustão) (%)	25,89
Matéria Orgânica Compostável (%)	11,88
Matéria Orgânica Resistente à Compostagem (%)	14,01
Carbono Orgânico (%)	8,62
Nitrogênio Total (%)	3,02
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) total (%)	20,30
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) solúvel CNA (%)	19,85
Potássio (K <sub>2</sub> O) total (%)	8,02
Capacidade de Troca Catiônica (mmol kg <sup>-1</sup> )	175,88
Relação C/N (C orgânico e N total)	-

As fontes foram aplicadas manualmente no fundo do sulco de semeadura da soja, aproximadamente a 5 cm de profundidade. As sementes foram semeadas manualmente a aproximadamente 3 cm de profundidade após o cobrimento das fontes, respeitando um estande de 13 plantas por metro linear.

Os tratos fitossanitários (inseticidas, herbicidas e fungicidas) foram realizados de acordo com a recomendação para a cultivar. Foi feita uma adubação de cobertura com 60 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O trinta dias após a semeadura.

No período que a soja esteve no campo, o Eucalipto não causou sombreamento na parcela experimental, pois as árvores estavam em média com 1,8 m e espaçadas da parcela útil em 8 m de cada lado.

### **Amostragem e análises realizadas**

As avaliações referentes às características do solo e análises agronômicas da soja foram realizadas em março de 2012, quando a soja já estava na maturidade fisiológica. O solo foi coletado nas camadas 0 a 0,1 e 0,1 a 0,2 m.

As amostras compostas foram formadas de três amostras simples por parcela, nas duas camadas de solo. A amostragem foi feita na forma de pequenas trincheiras de 0,2 por 0,2 m, exatamente na linha de plantio.

Foram coletadas amostras indeformadas, de acordo com a Embrapa (1997), para a determinação da Macroporosidade (Ma), da Microporosidade (Mi), da Porosidade Total (PT) e da Densidade do solo (Ds), sendo determinadas pelo método do anel volumétrico e da mesa de tensão, também conforme Embrapa (1997).

Para as demais análises foram retiradas das mesmas trincheiras amostras deformadas. A determinação de P em mg dm<sup>-3</sup> foi realizada pelo método de extração Mehlich 1 e quantificado por colorimetria, conforme Embrapa (1997).

Para a determinação do COT, as análises foram realizadas segundo Yeomans e Bremner (1988). O NT foi determinado pelo método de Kjeldahl, segundo Bremner e Mulvaney adaptado por Tedesco et al. (1995). E os estoques em kg ha<sup>-1</sup> foram determinados pela expressão: Teor de C ou N (mg kg<sup>-1</sup>) x Ds (mg dm<sup>-3</sup>) x E x 10, em que E = espessura da camada de solo (m).

Para a análise do C-Bio, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e encaminhadas ao laboratório em caixas de isopor. No laboratório, foram acondicionadas

em BOD, a 3°C, com controle de temperatura, até o momento da análise. A determinação foi realizada pelo método da irradiação-extração, utilizando-se forno de micro-ondas (ISLAM; WEIL, 1998).

Para a análise de número de vagens por planta, foram amostradas cinco plantas ao acaso dentro da área útil, para terem o número de vagens contadas. Posteriormente foi feita a média das cinco plantas para compor o valor da parcela. Para a análise de produtividade, foram colhidas 4 linhas centrais de 3 metros de comprimento. Essas plantas foram arrancadas e levadas para secagem. Após secas, foram trilhadas e determinada a umidade dos grãos, peso de 100 grãos e produtividade.

O peso médio de 100 grãos em gramas foi determinado através de gabarito (tabuleiro contador), em duas repetições de 100 sementes e pesadas em balança de precisão em cada parcela, com umidade padronizada em 13%.

Para a quantificação da produtividade, foi realizada a pesagem dos grãos colhidos na área útil com umidade padronizada para 13%. Os valores observados foram extrapolados para  $\text{kg ha}^{-1}$ . Esse valor foi denominado de Produtividade calculada. Através deste valor, foi calculada a Produtividade efetiva, que consiste na produtividade da soja no sistema de integração com a floresta, descontando a área ocupada pela mesma. Tal cálculo foi determinado pela seguinte expressão: Produtividade efetiva ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) = {Produtividade calculada ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) x [(10000 – área ocupada pela floresta ( $\text{m}^2$ )) / 10000]}.

### **Delineamento e estatística utilizada**

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 5x2, sendo o primeiro fator composto pelas diferentes fontes de P utilizadas, incluindo a testemunha, e o segundo fator sendo as duas camadas de solo avaliadas com cinco blocos.

Cada bloco continha cinco parcelas de 4 m de comprimento por 18 m de largura e foi instalado entre os reques de eucalipto, respeitando um metro de cada lado. Como área útil da parcela foi considerada as 16 linhas centrais da soja, descartando 0,5 m de cada extremidade, totalizando uma área de  $24 \text{ m}^2$ . Para a avaliação da produtividade da soja, foram colhidas, dentro da área útil, quatro linhas de 3 m de comprimento, totalizando uma área de  $6 \text{ m}^2$ , a qual foi utilizada para a estrapolação dos dados.

Os resultados obtidos foram submetidos aos testes de homogeneidade das variâncias, normalidade dos resíduos e aditividade. Posteriormente, foram submetidos à análise de variância, empregando-se o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2008). Quando o teste “F” foi significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Diferentemente de Leite et al. (2003), a presença de material orgânico na fonte Organomineral Formulada não aumentou os estoques de COT e NT, em relação à adubação mineral ou mesmo sem adubação. O estoque médio de COT foi de aproximadamente 11,5 Mg ha<sup>-1</sup> e de NT foi de aproximadamente 0,5 Mg ha<sup>-1</sup>.

O COT é um atributo do solo pouco variável e pouco sensível em curto período (LEITE et al., 2003). Seus estoques no solo estão diretamente relacionados à textura (FRAZÃO et al., 2010). E o aumento nos estoques, quando ocorre, é consequência indireta da aplicação do material orgânico ao solo (LOVATO et al., 2004), pois o que faz aumentar os estoques são os benefícios que estes trazem as culturas, e estas através da fotossíntese acumulam carbono ao solo por meio da biomassa vegetal. Portanto, o pouco tempo de desenvolvimento da cultura e principalmente a pequena quantidade de C aplicada no solo via fonte Organomineral (em torno de 50 kg ha<sup>-1</sup> de Carbono o que representa apenas 0,4% do estoque médio existente), foram os responsáveis para a fonte Organomineral Formulada não apresentar maior estoque de COT no solo.

Frazão et al. (2010), trabalhando em Neossolo Quartzarênico sob cultivo de soja após desmatamento, observaram estoques de COT na ordem de 10 Mg ha<sup>-1</sup> nas camadas de 0 a 0,1 m e de 0,1 a 0,2 m, números que se assemelham aos observados neste trabalho.

Klepker e Anghinoni (1995) observaram que, com a mobilização intensa do solo, há uma distribuição de carbono orgânico mais uniforme ao longo do perfil, justificando a não diferença significativa entre as camadas de solo avaliadas neste estudo.

O NT se assemelha ao COT em seu comportamento, já que a amostragem foi feita anteriormente a incorporação dos restos vegetais da soja, leguminosa que favorece o incremento de nitrogênio orgânico ao solo.

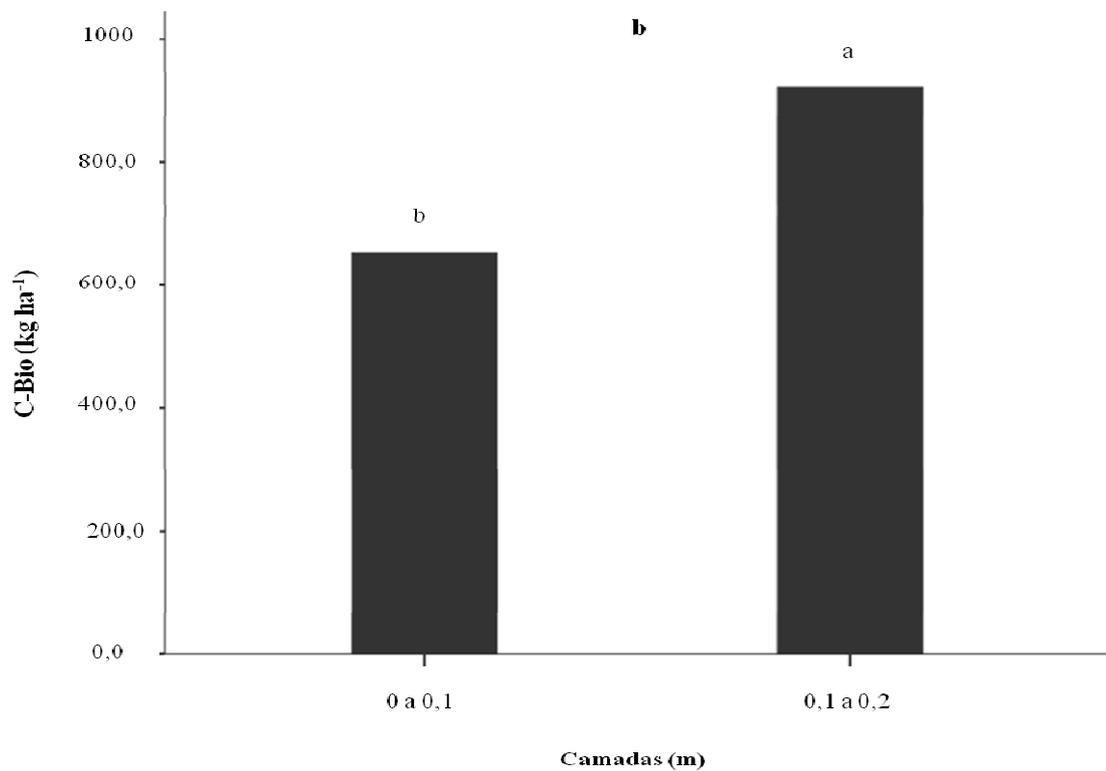
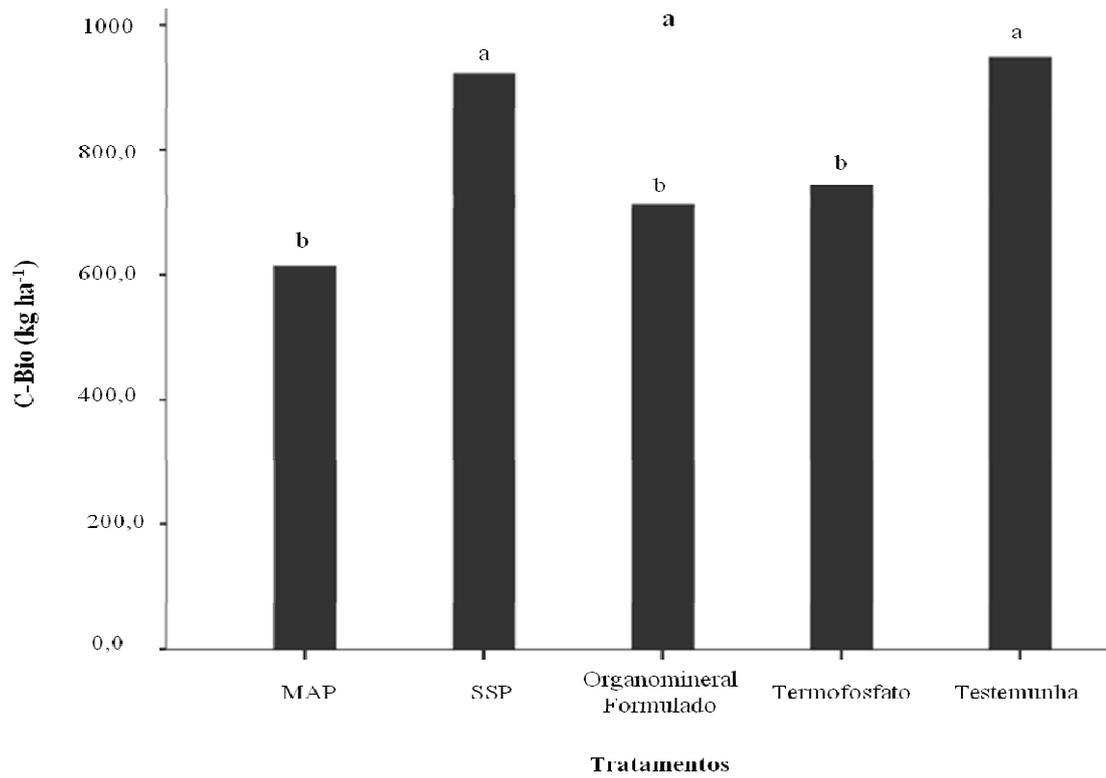
A testemunha e o SSP apresentaram os maiores estoques de C-Bio, 947,9 e 922,2 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. As demais fontes foram inferiores, com o MAP

apresentando a menor média: 600 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 2 **a**). Com relação às camadas de solo (Figura 2 **b**), observou-se maior estoque de C-Bio na segunda camada (0,1 a 0,2 m).

Diferentemente dos demais tratamentos, a testemunha não teve sua biomassa microbiana favorecida durante o desenvolvimento da cultura, e só no final do ciclo, quando houve aporte orgânico e disponibilidade de nutrientes pela soja, aumentou sua atividade. E com relação à profundidade, possivelmente a umidade seja a responsável por estes resultados.

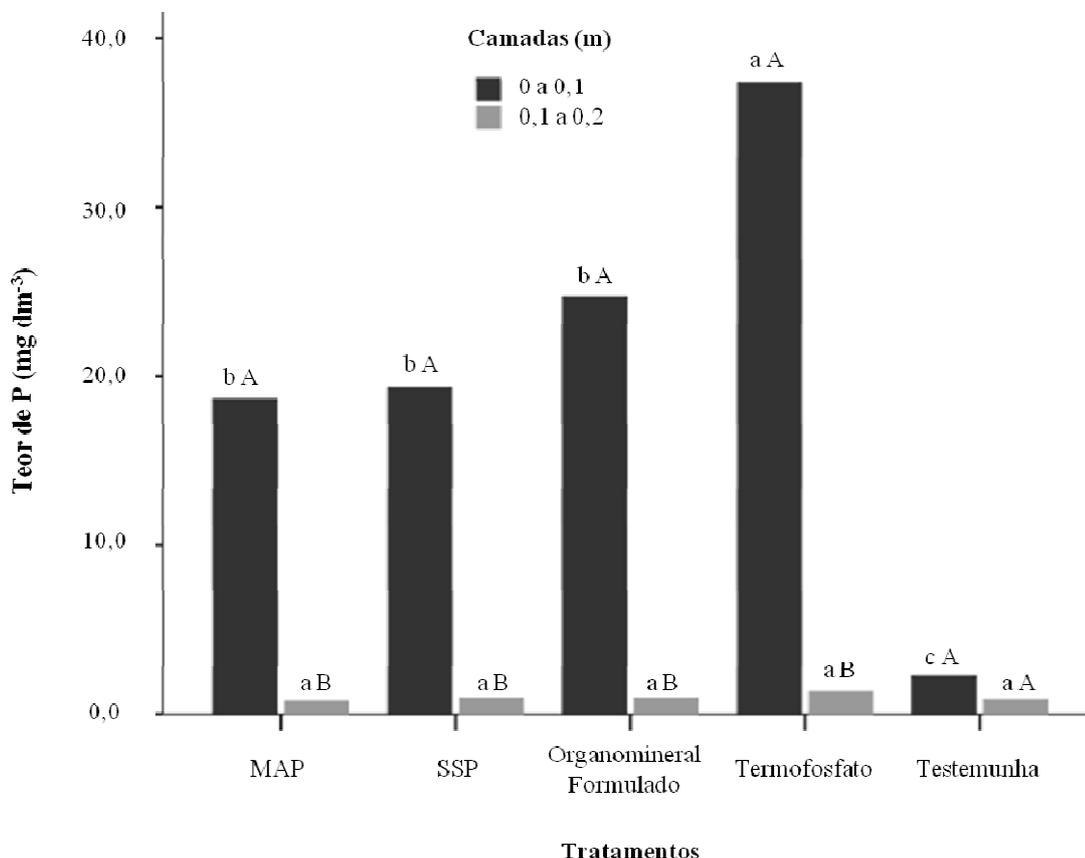
Durante o desenvolvimento fisiológico da soja, havia carbono, umidade e nutrientes para todos os tratamentos, excetuando a testemunha com limitação de nutrientes. Já no final do ciclo, quando foram coletadas as amostras, foi observada pouca umidade na superfície, em decorrência de alguns dias sem chuva (Figura 1) e da baixa retenção de água deste solo. No entanto, havia biomassa de raízes em diferentes quantidades, em todos os tratamentos e nas duas profundidades.

Segundo alguns autores, o fornecimento contínuo de matéria orgânica e a disponibilidade de nutrientes minerais nas camadas superficiais favorecem a atividade microbiana (FERNANDES et al., 2012; SOUZA et al., 2010). Com isso, há uma expectativa de que as camadas superficiais apresentem maior quantidade de C-Bio. No entanto, Souza et al. (2010) observaram que o clima, aeração e umidade podem interferir tanto quanto a disponibilidade de nutrientes para a atividade microbiana.



**FIGURA 2.** Estoques de C-Bio do solo em kg ha<sup>-1</sup> adubado com Fosfato Monoamônico (MAP), Super Fosfato Simples (SSP), Organomineral Formulado, Termofosfato e testemunha (a) e nas duas camadas avaliadas (b). Estoques seguidos da mesma letra não diferem, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade.

Para o teor de Fósforo no solo houve interação dupla significativa entre as fontes utilizadas e as camadas avaliadas (Figura 3).



**FIGURA 3.** Teor de P em  $\text{mg dm}^{-3}$  nas camadas de 0 a 0,1 m e 0,1 a 0,2 m de solo adubado com Fosfato Monoamônico (MAP), Super Fosfato Simples (SSP) Organomineral Formulado, Termofosfato e testemunha. Teores seguidos da mesma letra, minúscula para as diferentes fontes de P utilizadas, e maiúsculas para as duas camadas avaliadas, não diferem, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade.

Na camada superficial (0 a 0,1 m), o Termofosfato apresentou maior teor de P, aproximadamente  $37,4 \text{ mg dm}^{-3}$  de solo e a testemunha o menor teor, aproximadamente  $2,3 \text{ mg dm}^{-3}$ . As demais fontes apresentaram valores intermediários, em média  $20,9 \text{ mg dm}^{-3}$ . Na camada inferior, não houve diferença, com teor médio de aproximadamente  $1,0 \text{ mg dm}^{-3}$ .

O teor de P no solo em estudo era muito baixo, de acordo com a Comissão de Fertilidade do Solo de Minas Gerais (CFSMG) (1990), facilitando com isso a ocorrência

de respostas pela cultura da soja e pelo solo à aplicação do Fósforo no solo. E justificando o menor teor na testemunha, onde não houve adubação fosfatada.

O Termofosfato Magnésiano ter apresentado maior teor de fósforo na solução do solo pode estar relacionado à menor solubilidade desta fonte e/ou ser por conta do extrator utilizado na quantificação (Mehlich 1), já que a produtividade observada nesse tratamento não diferiu da testemunha.

Os fosfatos de maior solubilidade são mais prontamente disponíveis, favorecem a absorção e o aproveitamento do nutriente pelas culturas, principalmente as de ciclo curto (BEDIN et al., 2003), como no caso a soja. No entanto, essa rápida liberação do P pode também favorecer o processo de adsorção e precipitação das formas solúveis pelos componentes do solo, indisponibilizando o nutriente para as plantas (NOVAIS; SMYTH, 1999). Lana et al. (2004), atribuem o maior valor do fósforo observado no Termofosfato à menor adsorção pelos colóides do solo, devido a liberação gradual do fosfato.

Santos et al. (2009), trabalhando com duas fontes de fósforo (um formulado e um composto) em um Argissolo Amarelo Distrófico, com 850 g kg<sup>-1</sup> de argila, obtiveram teores de fósforo pelo método Mehlich 1 de 52,5 mg dm<sup>-3</sup> na fórmula e 118,5 mg dm<sup>-3</sup> no composto, e atribuíram o maior valor encontrado no composto, pelo fato do extrator duplo ácido ser passível de extrair P de forma ainda não disponível, superestimando os resultados.

Quando comparado às camadas para cada fonte de fósforo utilizada, observou-se maior teor de P nos primeiros 10 cm do solo, para todas as fontes testadas. No tratamento onde não houve aplicação de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, não houve diferença entre as camadas, apresentando em média apenas 1,51 mg dm<sup>-3</sup> de P.

O Fósforo foi aplicado a aproximadamente 5 cm de profundidade no perfil do solo, justificando a observação do menor teor na segunda camada avaliada. Em geral, são registrados valores muito baixos de transporte de fósforo, em razão de sua forte interação com os colóides do solo, especialmente em solos tropicais muito intemperizados (AZEVEDO et al., 2004). Com isso, Martinazzo (2006) encontrou baixos percentuais de amostras de solo coletados na camada de 10 a 20 cm com níveis de fósforo disponíveis superiores ao crítico para o desenvolvimento de várias culturas, inclusive a soja.

Não houve diferença estatística para Microporosidade, observando volume médio de aproximadamente 25 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, valor teoricamente ideal para essa característica.

Para a Macroporosidade (Figura 4 **a**) e PT (Figura 4 **b**), foram observados maiores volumes na camada superficial (23,4 e 47,8 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> respectivamente). Na segunda camada, os volumes foram 16,7 e 42,1 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> respectivamente.

A Microporosidade é mais influenciada pela textura do solo do que por qualquer outro fator (REINERT; REICHERT, 2006). Por isso é mais resistente à alterações, quando comparada a macroporosidade (BERTOL et al., 2004; TORRES et al., 2011), justificando a não observação de diferença significativa, neste experimento, nem entre as fontes de P e nem entre as profundidades. Araújo et al. (2004), avaliando um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa, também não encontraram diferença significativa para a Mi.

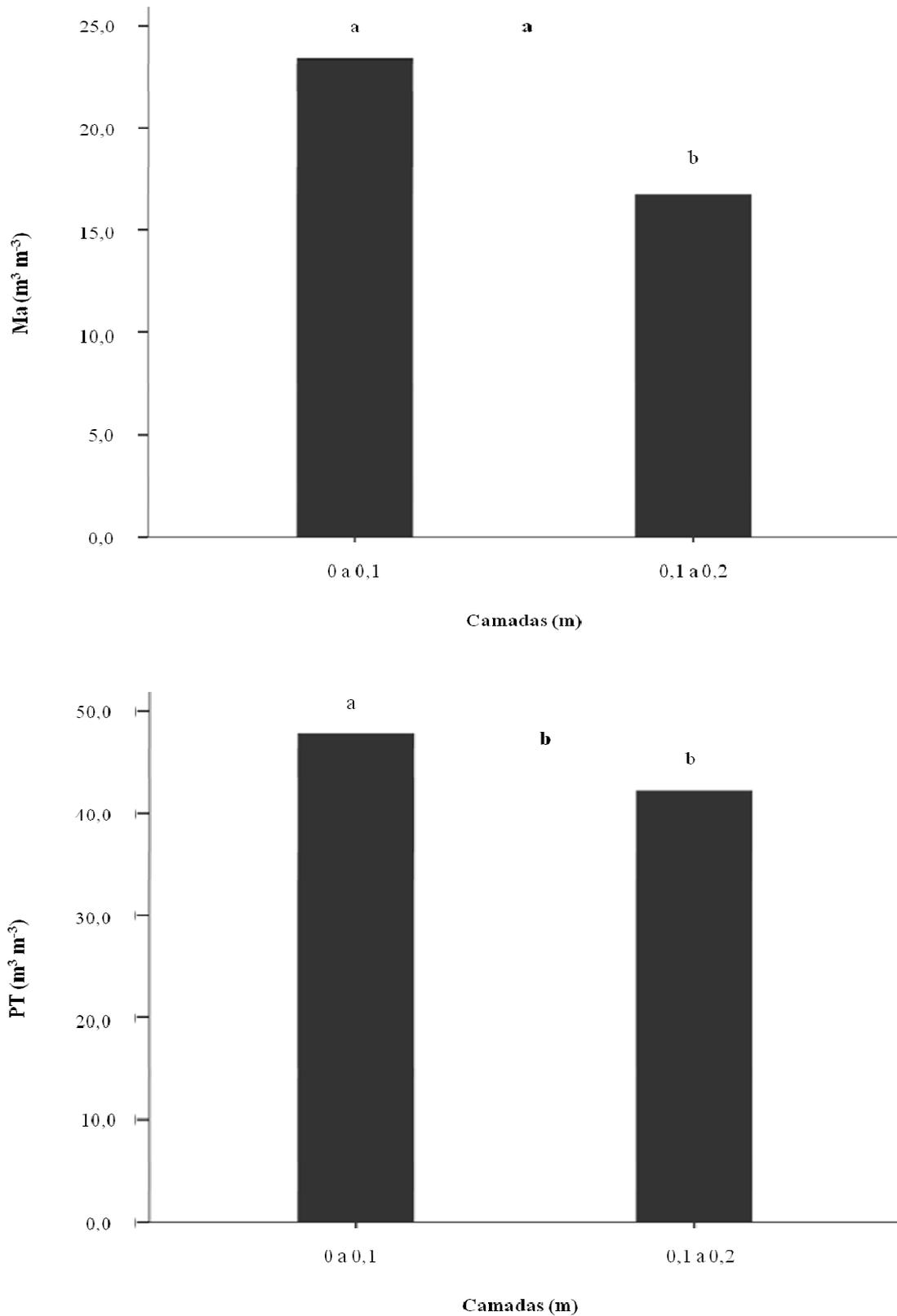
Já a Macroporosidade e PT são bastante dependentes da estrutura do solo (LIMA et al., 2009). A estrutura, por sua vez, é uma característica variável no tempo e no espaço, sua formação depende da existência de colóides, que estes passem pelo processo de floculação e que haja a cimentação das partículas floculadas, a que requer tempo (FONTES, 1992). Já sua destruição pode ser rápida, por meio do revolvimento do solo e esgotamento do Carbono Orgânico (SILVA et al., 2000).

O benefício do material orgânico à porosidade do solo é um benefício indireto, pois este melhora a qualidade ambiental do solo e esta melhoria é que irá atuar na floculação e principalmente na cimentação, estruturando o solo recentemente revolvido e refletindo na porosidade, o que também demanda tempo, justificando porque o material orgânico presente no adubo organomineral não aumentou o volume de macroporos e de PT.

É válido ressaltar que os volumes observados encontram-se acima dos valores críticos para o desenvolvimento de plantas e corroboram com dados de PT para solos arenosos. De modo geral, os solos arenosos possuem porosidade total na faixa de 0,32 a 0,47 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> (REINERT; REICHERT, 2006).

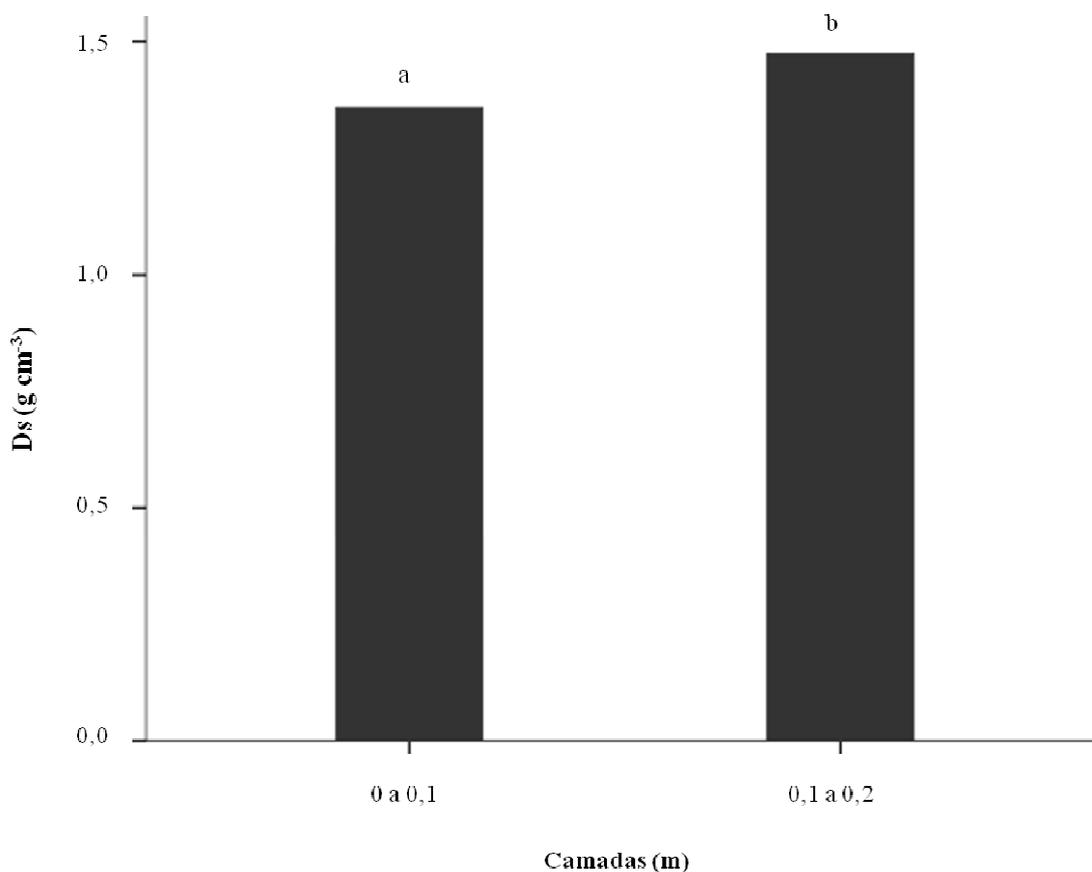
Com relação às camadas avaliadas, o maior volume de Ma e PT na primeira camada está atribuído ao revolvimento do solo. Normalmente, há um aumento momentâneo do volume de poros, devido principalmente ao aumento dos macroporos (RODRIGUÊS et al., 2011), oriundos do revolvimento do solo na camada mais superficial (BRAUNACK; DEXTER, 1989), entretanto, abaixo desta camada, essas propriedades podem apresentar comportamento inverso ao da superfície (COSTA et al., 2003). Por isso não pode ser considerado benéfico à estrutura do solo.

Abaixo dos dez primeiros centímetros no perfil do solo, as operações de revolvimento do solo não são tão efetivas, causando o chamado "pé de grade", ou seja, menor perturbação do solo, não refletindo em aumento da macroporosidade e justificando o menor valor nessa profundidade. Segundo Corsini e Ferraudo (1999), a subsolagem com aração e gradagem aumenta a porosidade da camada superficial do solo, não podendo concluir o mesmo para as camadas mais profundas.



**FIGURA 4.** Macroporosidade do solo (**a**) e Porosidade Total (**b**) em  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$  nas camadas de 0 a 0,1 e 0,1 a 0,2 m do solo. Volumes seguidos da mesma letra não diferem, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade.

O solo da camada mais profunda apresentou-se mais denso do que a camada superficial (1,47 e 1,36 g cm<sup>-3</sup> respectivamente) (Figura 5).



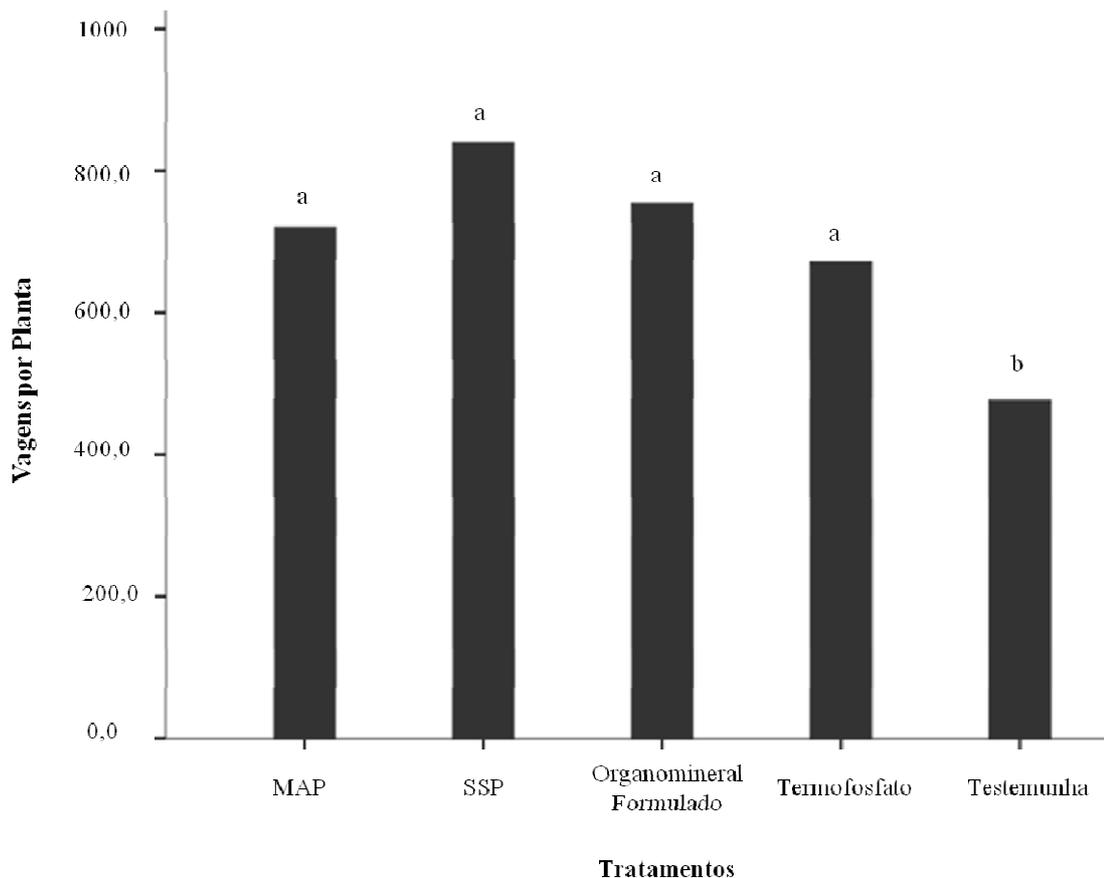
**FIGURA 5.** Densidade do solo em g cm<sup>-3</sup> nas camadas de 0 a 0,1 e 0,1 a 0,2 m do solo. Volumes seguidos da mesma letra não diferem, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade.

A Ds tende a aumentar com o aumento da profundidade no perfil, isto provavelmente devido ao menor teor de matéria orgânica, menor agregação, pouca quantidade de raízes e compactação causada pela massa das camadas superiores (REINERT; REICHERT, 2006), pelo entupimento de poros causados pelo impacto das gotas de chuva e argila dispersa ocorrentes em solos expostos (REICHERT et al., 2003).

Esses valores são variáveis, pois a Ds também é afetada pela textura do solo – solos mais arenosos são mais facilmente compressíveis e atingem maiores valores de Ds (RESENDE et al., 2012), além de apresentarem maior densidade de partícula. Por isso é comum encontrar solos arenosos com densidades superiores a 1,60 g cm<sup>-3</sup> e o mesmo não ser considerado como compactado (WENDLING et al., 2012).

Com relação às características agrônômicas da soja, houve diferença significativa no número de vagens por planta, e para as produtividades calculada e efetiva. O peso de 100 grãos não variou com a fonte de fósforo utilizada, sendo em média 15,7 gramas.

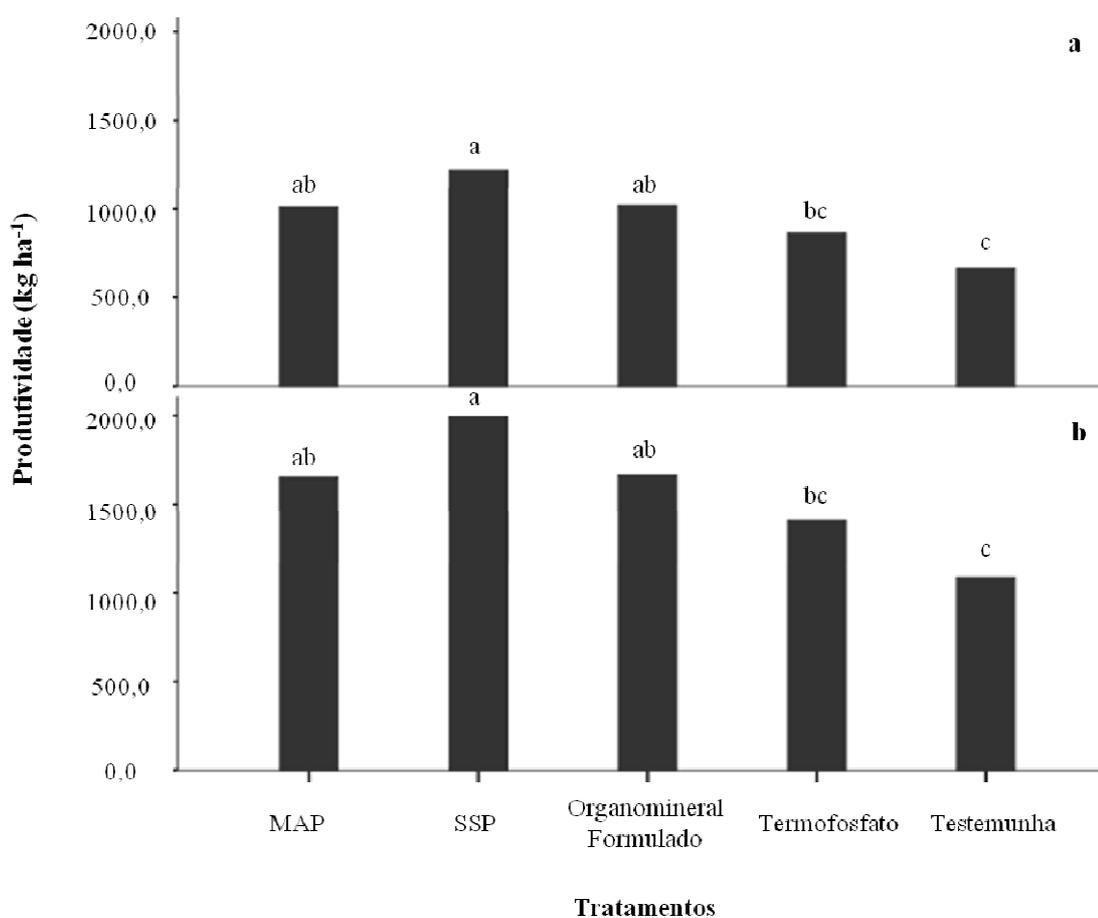
A adubação fosfatada possibilitou um incremento de aproximadamente 13,5 vagens por planta em relação à testemunha (Figura 6), pois o fósforo tem papel fundamental na produção de vagens.



**FIGURA 6.** Número de vagens por planta. Valores seguidos da mesma letra não diferem, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade.

Rosolem e Tavares (2006), estudando os sintomas de deficiência de P em soja, verificaram que a deficiência prejudicou basicamente a formação de vagens e, após o florescimento, apresentou maior percentagem de abscisão, além de diminuir o potencial de rendimento da soja, já nos estádios reprodutivos iniciais, como no florescimento, pela menor produção de flores e maior aborto dessas estruturas (VENTIMIGLIA et al., 1999).

A produtividade foi representada como produtividade calculada, sendo estimada para um hectare, e produtividade efetiva, onde foi descontada a área do hectare ocupada pela floresta. Ambas apresentaram o mesmo comportamento (Figura 7), tendo a fonte SSP a maior produtividade, sendo alcançada pelo Organomineral Formulado e o MAP. (1993,2, 1662,8 e 1651,3 kg ha<sup>-1</sup> produtividade calculada e 1219,9, 1017,6 e 1010,6 kg ha<sup>-1</sup> produtividade efetiva). A testemunha apresentou a menor produtividade, 1087,3 kg ha<sup>-1</sup> na produtividade calculada e 665,6 kg ha<sup>-1</sup> na produtividade efetiva.



**FIGURA 7.** Produtividade efetiva (a) e Produtividade calculada (b) de soja em kg ha<sup>-1</sup> submetida à adubação com Fosfato Monoamônico (MAP), Super Fosfato Simples (SSP) Organomineral Formulado, Termofosfato e testemunha. Produtividades seguidas da mesma letra não diferem, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade.

A soja é responsiva a fertilização fosfatada, no entanto, o fósforo aplicado tem que estar disponível na solução do solo para a absorção das plantas e obtenção de maiores produtividades.

A produtividade da soja foi abaixo da média nacional ( $3.106 \text{ kg ha}^{-1}$ ) (CONAB, 2012). Esta baixa produtividade está relacionada com a irregularidade de chuva na área durante o desenvolvimento da cultura (Figura 1), justificando também a não recomendação da soja para abertura de áreas degradadas, com o objetivo de obtenção de lucro em um curto prazo. No entanto, a soja geralmente é utilizada nestas áreas como condicionadoras de solo, devido ao aporte de nitrogênio e da melhoria da microbiota do solo.

A maior produtividade foi obtida com o SSP, sendo igual estatisticamente ao Organomineral Formulado e MAP. O Termofosfato Magnésiano não diferiu da testemunha.

A maior produtividade observada no SSP é devido à presença do íon sulfato, bastante requerido pela cultura e não disponibilizado pelas demais fontes. Sambatti et al. (1999), avaliando a planta de soja em área degradada com a utilização de quatro diferentes fontes de fósforo, concluíram que o SSP possibilitou melhores resultados, devido a maior disponibilidade imediata de fósforo e ao fornecimento simultâneo de enxofre na forma de sulfato.

A justificativa para o Organomineral Formulado com aplicação de 20% menos de  $\text{P}_2\text{O}_5$  ter se igualado estatisticamente ao SSP é justificada pelos benefícios que o material orgânico presente no formulado traz à adubação fosfatada. O adubo orgânico possibilita redução das doses e eleva o teor de fósforo acumulado na parte aérea, mesmo na aplicação de baixas doses do fertilizante mineral (TIRITAN et al., 2010).

Este efeito está associado a uma redução na fixação de fósforo pelos compostos minerais do solo, indicando que sistemas de manejo que promovem adição de matéria orgânica ao solo contribuem para elevar a disponibilidade do fósforo para as plantas, uma vez que carregadores orgânicos possuem a capacidade de melhorar a solubilidade dos compostos, disponibilizando mais rapidamente o fósforo (TIRITAN et al., 2010).

Segundo Novais et al. (1980), ao se aplicar um carregador orgânico associado a adubação fosfatada mineral, a matéria orgânica protege o fósforo, inibindo as reações de fixação do elemento com os óxidos de ferro e alumínio. Com isso, Santos et al. (2010) recomendam, para elevar a eficiência da adubação fosfatada, a utilização de carregador orgânico para proteger o P da fixação.

O Termofosfato Magnésiano ter apresentado a menor produtividade, apesar de ter o maior teor de fósforo na solução do solo, foi devido à falta de sincronia da disponibilidade do elemento com a época em que a cultura necessitava. Segundo Bedin

et al. (2003), essa sincronia é mais fácil de ser alcançada quando a fonte utilizada apresentar uma velocidade de liberação que coincida com a capacidade de aproveitamento do nutriente pela cultura ao longo do seu ciclo, ou seja, fontes solúveis em água.

## **CONCLUSÕES**

O Carbono da Biomassa Microbiana é uma característica bastante sensível e variável à alterações causadas pelo manejo do solo assim como à aplicações de diferentes fontes de adubos Fosfatados.

A aplicação de fontes de fósforo, mesmo em associação com material orgânico não influencia a porosidade do solo e densidade em um curto espaço de tempo.

A utilização de fontes Organominerais Formuladas tem potencial de redução das doses de Fósforo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.2, p.337-345, 2004.
- AZEVEDO, W.R.; FAQUIN, V.; FERNANDES, L.A.; OLIVEIRA JÚNIOR, A.C. Disponibilidade de fósforo para o arroz inundado sob efeito residual de calcário, gesso e esterco de curral aplicados na cultura do feijão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.6, p.995-1004, 2004.
- BEDIN, I.; FURTINI NETO, A. E.; RESENDE, A. V.; FAQUIN, V.; TOKURA, A. M.; SANTOS, J. Z. L. Fertilizantes fosfatados e produção da soja em solos com diferentes capacidades tampão de fosfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.4, p.639-646, 2003.
- BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J.A.; LEITE, D.; AMARAL, A.J.; ZOLDAN JUNIOR, W.A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.1, p.155-165, 2004.
- BRAUNACK, W.A.; DEXTER, A.R. Soil aggregation in the seedbed: a review. II. Effect of aggregate sizes on plant growth. **Soil and Tillage Research**. Amsterdam, v.14, p.281-98, 1989.
- COMISSÃO de fertilidade do solo do estado de Minas Gerais. (CFSMG) **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. 5. ed. Viçosa: Editora UFV, 1999. 359p.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, décimo levantamento, março 2012/Brasília: 2012**. Disponível em: <<[www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/9fraos8.6.10.pdf](http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/9fraos8.6.10.pdf)>>. Acesso em: 12 jan. 2013.
- CORSINI, P. C.; FERRAUDO, A. S. Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em Latossolo roxo **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.34, n.2, p.289-298, 1999.
- COSTA, F.S.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas de plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.3, p.527-535, 2003.
- EMBRAPA Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual e métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa CNPS, 212 p. 1997.
- EMBRAPA Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 1.ed. Brasília: Embrapa CNPS, 412 p. 1999.

- FERNANDES, M. M.; CARVALHO, M. G. C.; ARAUJO, J. M. R.; MELO, F. R.; SILVA, C. A.; SAMPAIO, F. M. T. Matéria orgânica e biomassa microbiana em plantios de eucalipto no cerrado piauiense. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v.19, n.4, p.453-459, 2012.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: Um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, Lavras, v.6, n.1, p.36-41, 2008.
- FRAZÃO, L. A.; SANTANA, I. K. da S.; CAMPOS, D. V. B. de; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C. Estoques de carbono e nitrogênio e fração leve da matéria orgânica em Neossolo Quartzarênico sob uso agrícola. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.45, n.10, p.1198-1204, 2010.
- FONTES, L. E. F. Estrutura do solo. In: FONTES, L. E. F.; SANS, L. M.; FONTES, M. P. F. **Física do solo: Princípios Básicos**. Viçosa: Deptº de Solos da Universidade Federal de Viçosa, 1992.
- GOMIDES, J. N. **Atributos físicos de Latossolo Vermelho cultivados com cana-de-açúcar e adubado com dejetos de animais de criação intensiva**. 2009. 96 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – ICIAG.Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2009.
- ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. **Biology and Fertility of Soil**, [S.l.], v.27, n.4, p.408-416, 1998.
- KLEPKER, D.; ANGHINONI, I. Características físicas e químicas do solo afetadas por métodos de preparo e modos de adubação. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Campinas, v.19, n.3, p.395-401, 1995.
- KOBIYAMA, M.; MINELLA, L. P. G; FABRIS, R. Áreas degradadas e sua recuperação. **Informe agropecuário**, Belo Horizonte, v.22, n. 210, p.10-17, 2001.
- LANA, R.M.Q.; ZANÃO JÚNIOR, L.A.; LUZ, J.M.Q.; SILVA, J.C. Produção da alfaca em função do uso de diferentes fontes de fósforo em solo de Cerrado. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.22, n.3, p. 525-528, 2004.
- LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L.; MACHADO, P. L. O. A.; GALVÃO J. C. C. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n.5, p. 821-832, 2003.
- LIMA, V. M. P.; OLIVEIRA, G. C. DE; SEVERIANO, E. DA C.; OLIVEIRA, L. F. C. DE. Intervalo hídrico ótimo e porosidade de solos cultivados em área de proteção ambiental do sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, n.5, p.1087-1095, 2009.
- LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em

sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n.1, p. 175-187, 2004.

MARTINAZZO, R. **Diagnóstico da fertilidade de solos em áreas sob plantio direto consolidado**. 2006. 84f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, 399 p. 1999.

NOVAIS, R. F. Efeito do tempo de incubação do fosfato de araxá em solos sobre o fósforo disponível. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v. 4, n.1, p. 153-155,1980.

PEREZ, K. S. S.; RAMOS, M. L. G.; MCMANUS, C. Nitrogênio da biomassa microbiana em solo cultivado com soja, sob diferentes sistemas de manejo, nos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.2, p.137-144, 2005.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência e Ambiente**, Santa Maria, v.27, n.1, p.29-48, 2003.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. **Propriedades Físicas do Solo**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, 18p. 2006.

RESENDE, T. M.; MORAES, E. R. de; FRANCO, F. O.; ARRUDA, E. M.; ARAÚJO, J. R.; SANTOS, D. da S.; BORGES, E. N.; RIBEIRO, B. T. Avaliação física do solo em áreas sob diferentes usos com adição de dejetos animais no bioma cerrado. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.28, Supplement 1, p.179-184, 2012.

RODRIGUES, E. T.; CASALI, V. W. Rendimento e concentração de nutrientes em alface em função da adubação orgânica e mineral. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.17, n.2, p.125-128, 1999.

RODRIGUES, S.; SILVA, A. P. da; GIAROLA, N. F. B.; ROSA, J. A. Permeabilidade ao ar em latossolo vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, n.1, p.105-114, 2011.

ROSOLEM, C. A.; TAVARES, C. A. Sintomas de deficiência tardia de fósforo em soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, n.2, p.385-389, 2006.

SAMBATTI, J. A.; SENGIK, E.; COSTA, A. C. S. da; MUNIZ, A. S.; BETINI, E. M.; CECATO, U. Resposta da soja e do capim brizantão cultivados em uma amostra de solo degradado à aplicação de quatro fontes de adubos fosfatados. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.21, n.3, p.559-563, 1999.

SANTOS, D. H.; TIRITAN, C. S.; FOLONI, J. S. S.; FABRIS, L. B. Produtividade de cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.40, n.4, p.454-461, 2010.

SANTOS, V. R. dos; MOURA FILHO, G.; ALBUQUERQUE, A. W.; COSTA, J. P. V. da; SANTOS, C. G. dos; SANTOS, A. C. I. dos. Crescimento e produtividade agrícola de cana-de-açúcar em diferentes fontes de fósforo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.13, n.4, p.389-396, 2009.

SILVA, M. L. N.; CURI, N.; BLANCANEUX, P. Sistemas de manejo e qualidade estrutural de Latossolo roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.12, p.2485-2492, 2000.

SOUZA, E. D. de; COSTA, S. E. V. G. de A.; ANGHINONI, I.; LIMA, C. V. S. de; CARVALHO, P. C. de F.; MARTINS, A. P. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.1 p.79-88, 2010.

TEDESCO, M. J.; BOHNEM, H.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas, e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 174p. 1995.

TIRITAN, C. S.; SANTOS, D. H.; FOLONI, J. S. S.; ALVES JÚNIOR, R. Adubação fosfatada mineral e organomineral no desenvolvimento do milho. **Colloquium Agrariae**, Presidente Prudente, v. 6, n.1, p. 08-14, 2010.

TORRES, J. L. R.; FABIAN, A. J.; PEREIRA, M. G. Alterações dos atributos físicos de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo. **Ciência Agrotecnica**, Lavras, v.35, n.3, p.437-445, 2011.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.19, n.13, p.1467-1476, 1988.

VENTIMIGLIA, L. A.; COSTA, J. L.; THOMAS, A. L.; PIRES, J. L. F. Soybean yield potential influenced by soil phosphorus content and row spacin. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.2, n.34, p.195-199, 1999.

WENDLING, B.; VINHAL-FREITAS, I. C.; OLIVEIRA, R. C. de; 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. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.28, Supplement 1, p.256-265, 2012.

ZECH, W.; SENESI, N.; GUGGENBERGER, G.; KAISER, K.; LEHMANN, J.; MIANO, T.M.; MILTNER, A.; SCHROTH, G. Factor controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. **Geoderma**, Amsterdam, v. 79, n.1, p. 117-161, 1997.

**CAPÍTULO 3: SISTEMAS AGROSSILVIPASTORIS E DIFERENTES FONTES  
DE FOSFÓRO NA MELHORIA DA QUALIDADE DO SOLO**

## RESUMO

### SISTEMAS AGROSSILVIPASTORIS E DIFERENTES FONTES DE FOSFÓRO NA MELHORIA DA QUALIDADE DO SOLO

**Resumo** - Aproximadamente 80% das pastagens no Cerrado brasileiro são extensivas, e estão propensas à degradação, principalmente devido a falta de adubação fosfatada. O sistema de integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF), o sistema Silvopastoril (SS) e as adubações com fertilizantes organominerais são opções para a reversão desta realidade. Nesta perspectiva, o objetivo deste trabalho foi comparar os benefícios na qualidade ambiental do solo devido à utilização do sistema SS e do sistema de iLPF fertilizado com fonte mineral e organomineral. O experimento foi realizado no Município de Uberlândia MG, na safra 2011/2012 e constituiu na comparação dos sistemas recém implantados, com uma área de pastagem degradada (Pd) e outra com vegetação preservada de Cerrado (CNP). Foram avaliados a Macroporosidade (Ma), Microporosidade (Mi), Porosidade Total (PT) e Densidade do solo (Ds), o pH, os teores de Al, P, K, Ca e Mg, além do Carbono Orgânico Total (COT), Nitrogênio Total (NT) e Carbono da Biomassa Microbiana (C-Bio). Os resultados obtidos foram submetidos ao teste de F ( $P < 0,05$ ) e as médias comparadas, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade. Concluiu-se que a implantação dos sistemas SS, iLPF-M e o iLPF-O melhoraram a PT, a Ma e a Ds do solo, assim como a adubação organomineral presente no sistema iLPF-O melhorou a disponibilidade de Fósforo e Potássio. O C-Bio, estoques de COT e NT não foram bons indicadores da melhoria da qualidade do solo, pois igualou o CNP a Pastagem degradada.

**Palavras chave:** Solo degradado. Sustentabilidade. Adubo Organomineral. Integração Lavoura-Pecuária-Floresta.

## ABSTRACT

### AGROFORESTRY SYSTEMS AND DIFFERENT SOURCES OF PHOSPHORUS IN SOIL QUALITY IMPROVEMENT

**Abstract** - Approximately 80% of the Brazilian Cerrado grasslands are extensive and are prone to degradation, mainly due to the lack of phosphorus. Integration Crop-Livestock-Forest (ICLF) system, silvipastoral system (SS) and fertilization with organomineral fertilizers are options to reverse this reality. In this perspective, this study compared the benefits in environmental soil quality due to the use of SS and ICLF systems fertilized with mineral and organic mineral sources of P. The experiment was conducted in the Municipality of Uberlândia MG, during the 2011/2012 season comparing the newly planted systems, with an area of degraded pasture (Pd) and with other preserved Cerrado (CNP) vegetation. The parameters macroporosity (MA), microporosity (Mi), Total Porosity (TP) and Soil density (Ds), pH, concentrations of Al, P, K, Ca and Mg, and Total Organic Carbon (TOC), Total Nitrogen (TN) and microbial biomass carbon (C-Bio) were evaluated. The results were tested for F ( $P < 0.05$ ) and averages were compared by the Tukey test at 0.05 probability. It is concluded that the implementation of SS systems, ICLF-M and ICLF-O improved soil PT, Ma and Ds. Similarly, organomineral fertilization present in the IAFP-O system improved availability of Phosphorus and Potassium. However, the C-Bio, stocks of TOC and TN were not good indicators of soil quality improvement since they equaled CNP with degraded grassland.

**Keywords:** Degraded soil. Sustainability. Organomineral Fertilizer. Crop-Livestock-Forest Integration.

## INTRODUÇÃO

Ambientes de floresta nativa, estabelecidos em solos de baixa fertilidade natural, como é o caso do Cerrado, têm sua manutenção associada ao equilíbrio entre a cobertura vegetal e os processos biogeoquímicos do solo (CARDOSO et al., 2009). Portanto, a interferência antrópica nestes ambientes põe em risco sua manutenção.

De acordo com Mota e Valladares (2011), essa interferência tem gerado degradação ambiental. O maior problema é quando faz-se a conversão da mata nativa em pastagem, uma vez que 80% das pastagens existentes no Cerrado brasileiro são extensivas, sem qualquer tipo de manejo, e estão propensas à degradação, principalmente devido a falta de fertilização, em especial fosfatada.

Com a crescente pressão ambiental sobre a incorporação de novas áreas ao processo produtivo, a recuperação e utilização destas áreas subutilizadas serão de suma importância para a manutenção e aumento da produção agrícola e pecuária nacional.

A inclusão destas áreas ao processo produtivo terá que ser por meio de sistemas sustentáveis, capazes de atender às demandas de um mercado globalizado, que demanda em quantidade e regularidade e exige em qualidade e origem do produto (DIAS-FILHO, 2011).

A integração Agricultura-Pecuária em conjunto com o plantio direto, a proposta do sistema de integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF) e o sistema Silvopastoril (SS) merecem destaque nesse contexto. Principalmente em solos de extrema fragilidade, como os arenosos, visto que possibilita a manutenção e, ou, melhoria nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo (KLUTHCOUSKI et al., 2003; ALVARENGA et al., 2010).

Outra tecnologia que vem ganhando espaço, por enquadrar no conceito de sustentabilidade, é a utilização de adubos organominerais. Consistem na compostagem de resíduos orgânicos que, após compostados liberam substâncias húmicas que se ligam a nutrientes minerais que neles são adicionados (SOUZA, 2007). De acordo com Dick et al. (1997), o alto poder complexante das substâncias húmicas influenciam propriedades físicas e químicas do solo, em especial a disponibilidade de Fósforo.

Neste contexto objetivou-se avaliar o potencial de melhoria da porosidade, Densidade, do Carbono Orgânico Total (COT), do Nitrogênio Total (NT), do Carbono da Biomassa (C-Bio) e da fertilidade, de uma área de pastagem degradada em

recuperação por diferentes sistemas e adubação, com uma Pastagem degradada e uma área de Cerrado Preservado.

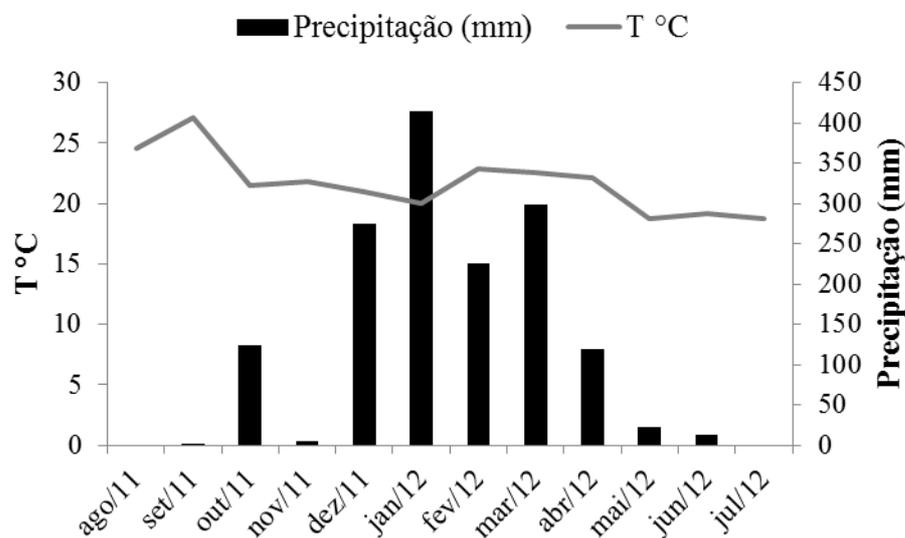
## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento constituiu na comparação de três sistemas agrossilvipastoris recém-implantados com diferentes manejos, com duas áreas adjacentes: uma de pastagem degradada e outra com vegetação preservada de Cerrado.

Os sistemas agrossilvipastoris foram implantados em agosto de 2011 no município de Uberlândia, MG, na Fazenda experimental da EPAMIG, situada nas coordenadas 18°50'S e 48°14'W, e altitude de 785 metros.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, caracterizado como tropical chuvoso, megatérmico, típico de savanas, com inverno seco, com precipitação média de 1550 mm e com temperaturas médias anuais de 23,1 °C (GOMIDES, 2009).

A temperatura e as precipitações ocorridas durante a condução do trabalho estão apresentadas na Figura 1.



**FIGURA 1.** Dados médios de temperatura e precipitação pluvial por mês em Uberlândia MG. Dados obtidos na estação experimental da Universidade Federal de Uberlândia.

O solo é classificado como Latossolo Vermelho distrófico (EMBRAPA, 1999), de textura arenosa. Os atributos físicos e químicos estão apresentados nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

**TABELA 1.** Atributos físicos do solo, nas camadas de 0-0,2 e 0,2-0,4 m no perfil, Uberlândia, 2011.

Camada	AF	AG	Silte	Argila	Classe Textural
m			g kg <sup>-1</sup>		
0-0,2	420	396	51	133	Arenosa
0,2-0,4	433	362	29	177	Média

AF = Areia Fina; AG = Areia Grossa; Areia, Silte e Argila pelo método NaOH 0,1 mol l<sup>-1</sup>, (EMBRAPA, 1997).

**TABELA 2.** Atributos químicos do solo, nas camadas de 0-0,2 e 0,2-0,4 m no perfil, Uberlândia, 2011.

Camada	pH	H <sub>2</sub> O	P	K	Al	Ca	Mg	H+Al	SB	t	T	V	m	MO
m			mg dm <sup>-3</sup>					cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>				%		dag kg <sup>-1</sup>
0-0,2	4,9	1,1	19	0,5	0,1	0,1	6,7	0,25	0,75	6,95	4	67	1,3	
0,2-0,4	4,8	0,7	12	0,4	0,1	0,1	2,2	0,23	0,63	2,43	10	64	0,4	

P, K = (HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup>) P disponível (extrator Mehlich-1); Ca, Mg, Al, (KCl 1 mol L<sup>-1</sup>); H+Al = (Solução Tampão – SMP a pH 7,5); SB = Soma de Bases; t = CTC efetiva; T = CTC a pH 7,0; V = Saturação por bases; m = Saturação por alumínio (EMBRAPA, 1997).

### Implantação e condução dos sistemas

Em agosto de 2011, foi realizada a calagem com incorporação através de grade, para a elevação da saturação por bases para 70% (CFSMG, 1999), utilizando 4,6 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico com PRNT de 90%. Em outubro, foi realizada uma nova gradagem com o objetivo de preparar o solo para o plantio, do eucalipto e da soja.

Os sistemas foram divididos em três: o primeiro e o segundo foram compostos pelo consorcio entre o componente florestal e a cultura da soja semeada na entrelinha, sendo um com adubação mineral (iLPF-M) e o outro com a adubação organomineral (iLPF-O); o terceiro sistema constituiu no consorcio entre o eucalipto e a pastagem de *Brachiaria decumbens* oriunda do banco de semente presente na área (SS). Neste último, não houve qualquer tipo de adubação ou manejo, há não ser a correção e o revolvimento do solo que foi comum aos três sistemas. No momento das amostragens de solo ainda não se tinha colocado gado na área, em função do tamanho do eucalipto.

O componente florestal foi formado por mudas clonais do híbrido de eucalipto A 144, oriundo do cruzamento entre *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*.

As mudas foram plantadas em renques de 100 m de comprimento espaçados entre si por 20 m e em nível. Cada renque foi composto por três linhas, espaçadas entre si por 3 m e 2 m entre plantas. Essa configuração fez com que o eucalipto ocupasse 30,8% da área de um hectare. A adubação de plantio consistiu na aplicação de 666,66 kg ha<sup>-1</sup> Termofosfato Magnésiano, equivalendo a 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. As mudas foram imersas no momento do plantio em inseticida com ingrediente ativo a base de fipronil para o controle de cupins. Para o controle de formigas, foram utilizadas iscas formicidas a base de sulfuramida.

Como componente agrícola, foi cultivado a soja (*Glycine max* (L.) Merr.), cultivar NS 6636 transgênica de ciclo médio, semeada na primeira semana de dezembro, no espaçamento de 0,5 m inoculadas com o inoculante Glicimax<sup>®</sup>, na dose 150 gramas para 100 kg de semente.

No sistema com adubação mineral (iLPF-M), foram utilizados a Ureia, Cloreto de Potássio e MAP para suprir a necessidade de 20-120-60 kg ha<sup>-1</sup> N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente. Para o ambiente com adubação organomineral (iLPF-O), foi utilizado o Organomineral granulado com a presença das fontes minerais associadas à matéria orgânica, na formulação 03-20-08 aplicado 500 kg ha<sup>-1</sup>, correspondendo a 80% da recomendação.

De acordo com Tiritan et al. (2010), a adubação organomineral pode ser reduzida em até 20% sem que haja prejuízos ao desenvolvimento da cultura. O fertilizante Organomineral formulado (GeoCiclo) foi obtido por um processo de enriquecimento da matéria orgânica presente na cama de aviário com fertilizantes minerais, para que chegasse a um teor de nutrientes desejável, sua caracterização encontra-se na Tabela 3. Após o enriquecimento com as fontes minerais, o mesmo foi peletizado.

As fontes foram aplicadas manualmente no fundo do sulco de semeadura da soja, aproximadamente a 5 cm de profundidade. As sementes foram semeadas manualmente a aproximadamente 3 cm de profundidade, após o cobrimento das fontes, respeitando um estande de 13 plantas por metro linear.

Os tratos fitossanitários (inseticidas, herbicidas e fungicidas) foram realizados de acordo com a recomendação para a cultivar. Foi feita uma adubação de cobertura com 60 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O trinta dias após a semeadura.

**Tabela 3.** Caracterização química e física do Organomineral Formulado (03-20-08), Uberlândia, 2011.

Determinações	Base Úmida
Ph em CaCl <sub>2</sub> .....	5,52
Densidade (g cm <sup>-3</sup> ) .....	0,81
Umidade perdida entre 65 e 110°C (%) .....	9,90
Matéria Orgânica Total (combustão) (%) .....	25,89
Matéria Orgânica Compostável (%) .....	11,88
Matéria Orgânica Resistente à Compostagem (%) .....	14,01
Carbono Orgânico (%) .....	8,62
Nitrogênio Total (%) .....	3,02
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) total (%) .....	20,30
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) solúvel CNA (%) .....	19,85
Potássio (K <sub>2</sub> O) total (%) .....	8,02
Capacidade de Troca Catiônica (mmol kg <sup>-1</sup> ) .....	175,88
Relação C/N (C orgânico e N total) .....	-

No período que a soja esteve no campo, o Eucalipto não causou sombreamento na parcela experimental, pois as árvores estavam em média com 1,8 m e espaçadas da parcela útil em 8 m de cada lado.

A área de pastagem degradada (Pd) estava com aproximadamente 10 anos de implantada e com pastejo contínuo. O Cerrado Nativo Preservado (CNP) tinha aproximadamente 7 hectares de área de preservação.

### **Amostragem e Análises estatísticas**

As amostragens de solo foram realizadas nas camadas de 0 a 0,1 e 0,1 a 0,2 m, em abril de 2012, quando nos ambientes iLPF-M e iLPF-O a soja já estava na maturidade fisiológica.

As amostras foram retiradas de forma composta, sendo retiradas em cada parcela três amostras simples para compor cada amostra composta, nas duas camadas. A amostragem foi feita na forma de pequenas trincheiras de 0,2 por 0,2 m, exatamente na linha de plantio.

Foram coletadas amostras indeformadas, de acordo com a Embrapa (1997), para a determinação da Macroporosidade (Ma), da Microporosidade (Mi), da Porosidade

Total (PT) e da Densidade do solo (Ds). Para as demais análises, foram retiradas das mesmas trincheiras amostras deformadas.

Para a análise do C-Bio, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e encaminhadas ao laboratório em caixas de isopor. No laboratório, foram acondicionadas em BOD a 3°C com controle de temperatura, até o momento das análises.

Para comparação dos sistemas agrossilvipastoris (iLPF-M; iLPF-O, SS) com os ambientes de comparação (Pd, CNP), foram retiradas 5 amostras compostas de cada ambiente (repetições) e analisadas. Os resultados obtidos foram submetidos aos testes de homogeneidade das variâncias e normalidade dos resíduos a fim de atender as pressuposições da análise estatística. Com as pressuposições aceitas, foram submetidos à análise de variância, empregando-se o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2008). Quando o teste “F” foi significativo, as médias foram comparadas, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade.

### **Variáveis analisadas**

Foram determinadas, conforme recomendado pela Embrapa (1997), a Ma, Mi, PT, Ds, o pH, a acidez ativa, o P, K, Ca e Mg.

Com relação às características da matéria orgânica, foram avaliados o COT o NT e o Carbono da Biomassa Microbiana (C-Bio).

O C-Bio foi determinado pelo método da irradiação-extração, utilizando-se forno de micro-ondas (ISLAM; WEIL, 1998). Para a determinação do COT, as análises foram realizadas segundo Yeomans e Bremner (1988). O NT foi determinado pelo método de Kjeldahl, segundo Tedesco et al. (1995). Os estoques de C e N ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) no solo foram determinados pela expressão: Teor de C ou N ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) x Ds ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) x E x 10, em que E = espessura da camada de solo (m).

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A Ma e a PT (Figura 2), assim como a Ds (Figura 3), comportaram-se como boas variáveis para a avaliação da melhoria da qualidade do solo pelos diferentes sistemas agrossilvipastoris e seus diferentes manejos.

Os sistemas iLPF apresentaram maiores volumes de Ma e PT que o CNP (em média 27 e 50 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, respectivamente), indicando uma melhoria da qualidade do solo em relação a pastagem degradada, na camada de 0 a 0,1m.

A área sob Pastagem Degradada (Figura 3) apresentou a maior Ds (maior restrição ao crescimento radicular das plantas), em torno de 1,50 g dm<sup>-3</sup>, enquanto que as demais apresentaram em média 1,47 g dm<sup>-3</sup>. Observou-se que os sistemas agrossilvipastoris, independente do manejo, melhoraram a qualidade ambiental do solo na primeira camada. Já na segunda, não houve melhoria, tendo estes sistemas valores de Ds iguais ao da Pd.

De acordo com Cardoso (2008), os limites críticos para a Ma são de 0,10 e 0,30 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> e para PT de 0,36 e 0,55 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>. Para Corsini e Ferraudo (1999), o valor de Ds crítico ao crescimento radicular em solos arenosos é de 1,75 g dm<sup>-3</sup>. De modo geral, os solos arenosos possuem PT na faixa de 0,32 a 0,47 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> (REINERT; REICHERT, 2006).

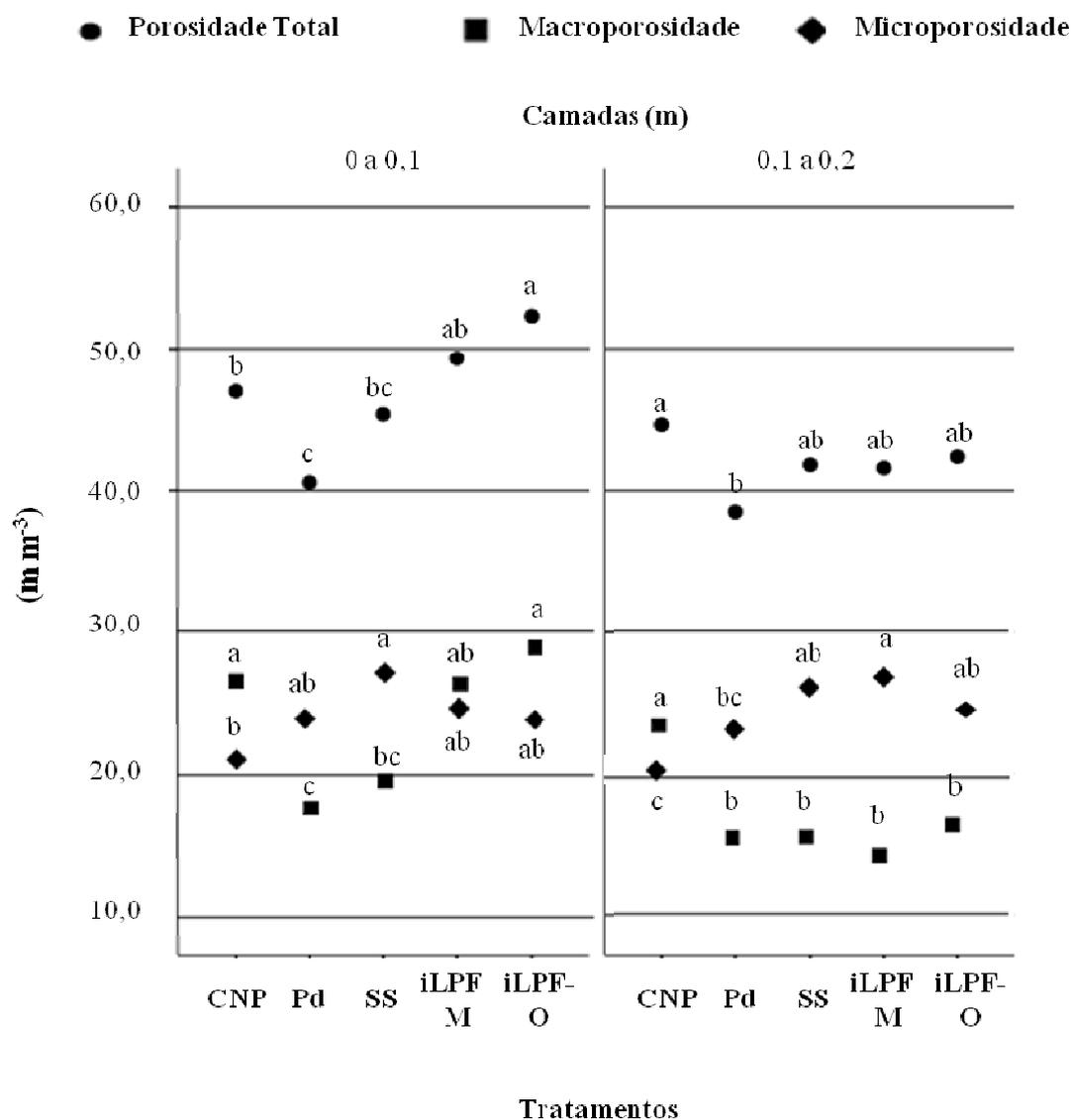
Freitas et al. (2012) observaram que sistemas agrossilvipastoris anteriores à entrada do gado na área, instalados sobre Latossolo Vermelho, aumentaram o índice de qualidade do solo em comparação a sistemas nativos.

O revolvimento quebra as camadas compactadas do solo (MACHADO et al., 1996), e isso momentaneamente aumenta o volume de Ma e, conseqüentemente, da PT. Em contrapartida, quebra a continuidade dos poros (RODRIGUES et al., 2011 a), além de favorecer a perda de carbono do solo (FRAZÃO et al., 2010). O desenvolvimento do sistema radicular também possibilita esse aumento.

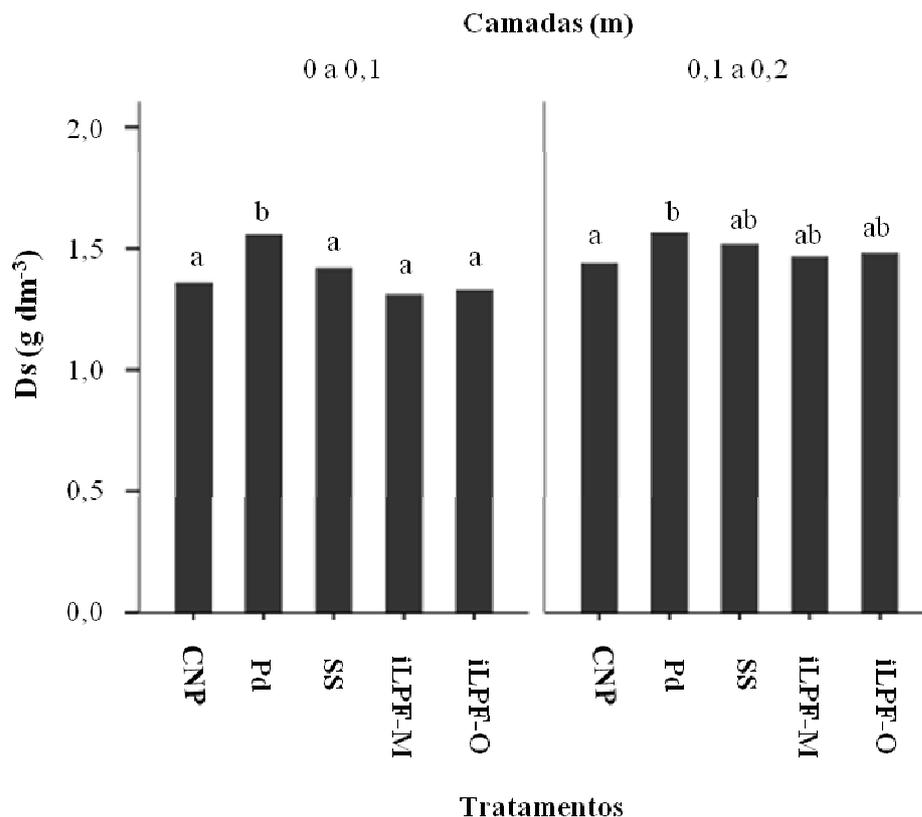
De acordo com Préchac (1992), as propriedades físicas do solo podem ser recuperadas pelo benefício do sistema radicular de gramíneas que, quando produtivas, influenciam positivamente a produção de culturas anuais nos cultivos subsequentes.

Na segunda camada avaliada, estes sistemas assim como o SS não melhoram as condições da Ma do solo quando comparados com a Pd (16 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) e o CNP (24 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>), indicando que o revolvimento do solo causa problemas quanto a Ma em camadas de solo mais profundas.

Com relação à Mi, não houve diferença significativa entre o CNP e a Pd, não sendo então uma boa variável para o estudo da melhoria da qualidade do solo, em solos de textura média. Tais dados corroboram com os encontrados por Reinert e Reichert (2006), que afirmaram que a Mi do solo é mais influenciada pela textura do solo, do que por qualquer outro fator.



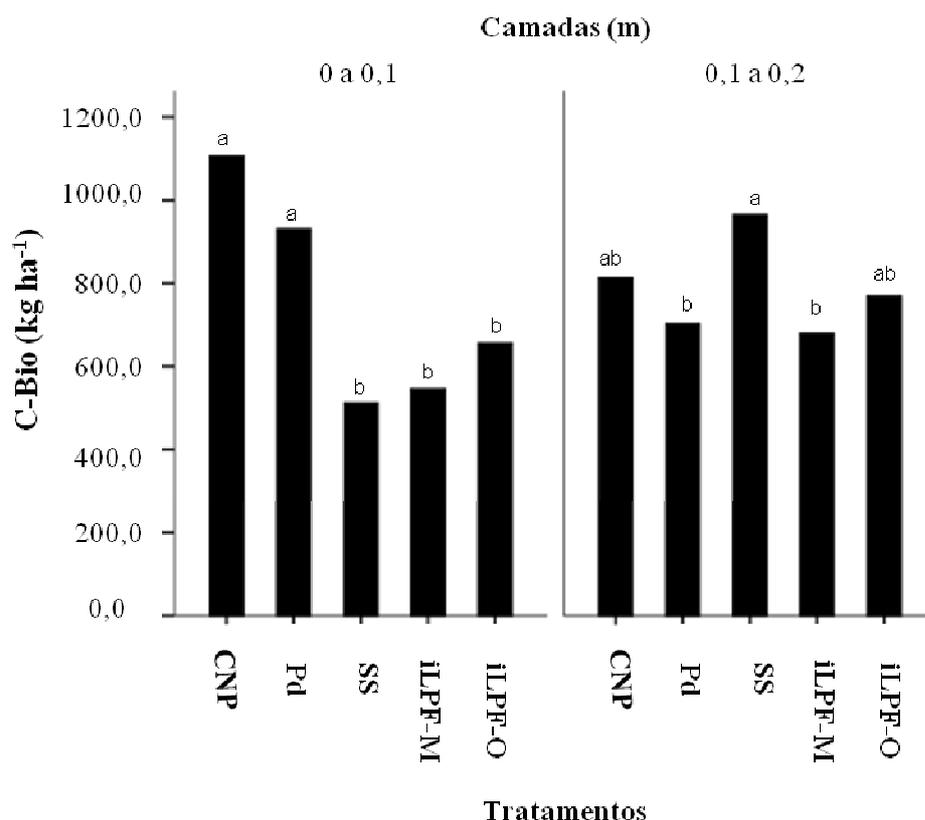
**FIGURA 2.** Porosidade do solo em  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$  nas camadas de 0 a 0,1 e 0,1 a 0,2 m submetido a diferentes tipos de uso e manejo. Tratamentos: CNP – Cerrado Natural Preservado; Pd – Pastagem Degradada; SS – Sistema Silvopastoril; iLPF-M – integração Lavoura-Pecuária-Floresta com adubação mineral; iLPF-O – integração Lavoura-Pecuária-Floresta com adubação organomineral. Volumes seguidos da mesma letra não diferem, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade.



**FIGURA 3.** Densidade do solo em  $\text{g cm}^{-3}$  nas camadas de 0 a 0,1 e 0,1 a 0,2 m do solo submetido a diferentes tipos de uso e manejo. Tratamentos: CNP – Cerrado Natural Preservado; Pd – Pastagem Degradada; SS – Sistema Silvopastoril; iLPF-M – integração Lavoura-Pecuária-Floresta com adubação mineral; iLPF-O – integração Lavoura-Pecuária-Floresta com adubação organomineral. Valores seguidos da mesma letra não diferem, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade.

A implantação dos sistemas agrossilvipastoris reduziram em torno de 45% o estoque de C-Bio na camada de 0 a 0,1 m (Figura 4). O CNP e a Pd apresentaram estoques médios de aproximadamente 1100 e 950  $\text{kg ha}^{-1}$ , respectivamente, não sendo diferentes estatisticamente. Portanto, esta variável pode não ser uma boa variável para comparar a melhoria da qualidade do solo.

Na segunda camada, observou-se o inverso, tendo os sistemas agrossilvipastoris elevado os estoques do C-Bio, principalmente no SS e no iLPF-O. Os sistemas que sofreram revolvimento apresentaram, em média, 590  $\text{kg ha}^{-1}$  na primeira camada e aproximadamente 800  $\text{kg ha}^{-1}$  na segunda.



**FIGURA 4.** Carbono da Biomassa Microbiana (C-Bio) em kg ha<sup>-1</sup> nas camadas de 0 a 0,1 e 0,1 a 0,2 m submetido a diferentes tipos de uso e manejo. Tratamentos: CNP – Cerrado Natural Preservado; Pd – Pastagem Degradada; SS – Sistema Silvopastoril; iLPF-M – integração Lavoura-Pecuária-Floresta com adubação mineral; iLPF-O – integração Lavoura-Pecuária-Floresta com adubação organomineral. Valores seguidos da mesma letra não diferem, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade.

A atividade da Biomassa Microbiana está relacionada, dentre vários fatores, com a disponibilidade de material orgânico decomponível, assim como nutrientes e umidade para os microrganismos do solo (FERNANDES et al., 2012).

Por isso o revolvimento do solo realizado para a implantação dos sistemas reduziu a atividade microbiana na primeira camada, uma vez que reduziu a quantidade de C decomponível. Enquanto que, na segunda camada, favoreceu a atividade microbiana, pois incorporou material orgânico à camada subsuperficial do solo. Klepker e Anghinoni (1995) observaram que a mobilização intensa do solo homogeneizou a distribuição de carbono orgânico ao longo do perfil.

No presente experimento, observou-se que a umidade foi o fator preponderante para a maior atividade microbiana do solo na segunda camada, pois o SS apresentou maior estoque de C-Bio, quando comparados com os outros sistemas com revolvimento e

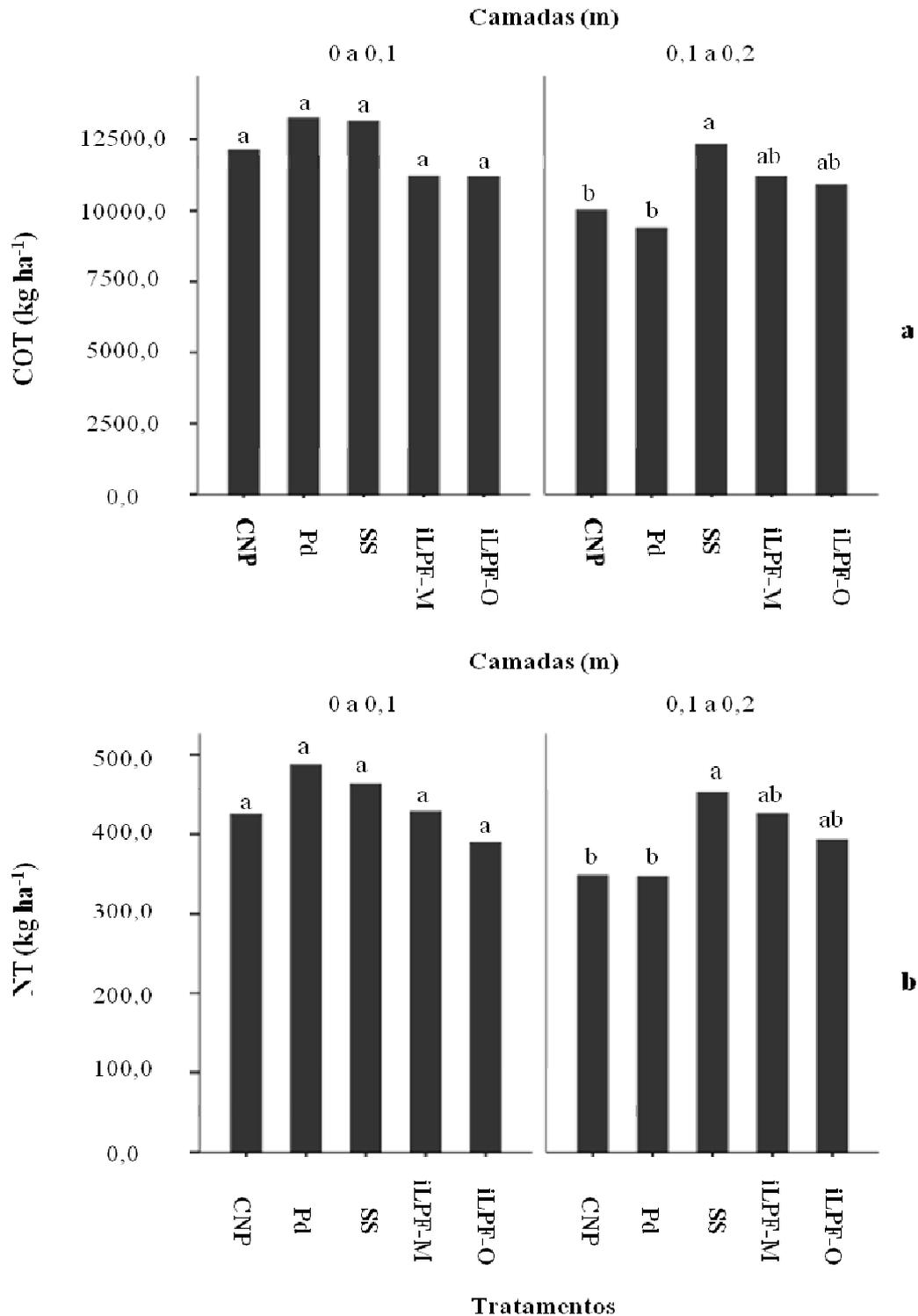
correção do solo. De acordo com Rodrigues et al. (2011 b), área de pastagem retém maior umidade do que áreas com plantio de eucalipto.

Carneiro et al. (2008) relataram aumento de aproximadamente 50% no valor de Carbono microbiano, em ambientes de pastagem de *Brachiaria decumbens* e integração lavoura-pecuária em relação ao cerrado nativo, atribuindo ao sistema radicular fasciculado da gramínea, além da maior retenção de água no solo (PEREZ et al., 2005).

O COT e o NT não são bons parâmetros para comparação da qualidade ambiental entre diferentes sistemas de uso e manejo, principalmente em um curto período de tempo, justificando a não diferença estatística entre a Pd e o CNP.

Na segunda camada, os sistemas agrossilvipastoris possibilitaram aumento nos estoques de COT e NT (aproximadamente 11 e 0,45 Mg ha<sup>-1</sup> respectivamente) em relação as áreas sem manejo (Figura 5a e b).

Tal fato pode estar relacionado ao acréscimo do conteúdo de COT e NT nos sistemas agrossilvipastoris, em especial ao SS, o qual pode estar relacionado ao desenvolvimento vegetativo das plantas. A proteção física da matéria orgânica, exercida pela estrutura do solo promovida pelas raízes fasciculadas das gramíneas, pode explicar a maior concentração de COT neste ambiente (BALESDENT et al., 2000).



**FIGURA 5.** Carbono Orgânico Total (COT) (a) e Nitrogênio Total (NT) (b) em kg ha<sup>-1</sup> nas camadas de 0 a 0,1 e 0,1 a 0,2 m submetido a diferentes tipos de uso e manejo. Tratamentos: CNP – Cerrado Natural Preservado; Pd – Pastagem Degradada; SS – Sistema Silvopastoril; iLPF-M – integração Lavoura-Pecuária-Floresta com adubação mineral; iLPF-O – integração Lavoura-Pecuária-Floresta com adubação organomineral. Valores seguidos da mesma letra não diferem, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade.

Com relação a parâmetros de fertilidade do solo o CNP, não apresentou como um bom ambiente de comparação para comparar os benefícios dos sistemas agrossilvipastoris com diferentes manejos. O mesmo apresentou os piores resultados quanto à fertilidade do solo, inclusive quando comparado com a pastagem degradada (Figura 6 **a**, **b**, **c**, **d**, **e** e **f**). Dentre os resultados observados estão: o menor valor de pH (aproximadamente 3,9), os menores teores de Potássio, Cálcio e Magnésio e a maior teor de Alumínio trocável ( $Al^{3+}$ ), nas duas camadas avaliadas.

Os solos de Cerrado apresentam baixa fertilidade natural, decorrente do intenso processo de intemperismo que ocorre nas regiões onde se localizam (AZEVEDO et al., 2004). Especialmente no que concerne à baixa disponibilidade de fósforo e alta capacidade de fixação deste nutriente, além da baixa capacidade de troca de cátions (CTC) e alta saturação por alumínio (VENDRAME et al., 2010).

Os sistemas agrossilvipastoris melhoraram a qualidade do solo para o crescimento vegetal com relação ao Alumínio trocável, aos teores de Cálcio e Magnésio, independente da camada (Figura 6 **c**, **e** e **f**).

Quando se fez a implantação dos sistemas agrossilvipastoris, foi realizada a calagem, a qual reduziu o  $Al^{3+}$  e elevou os teores de Ca e Mg na solução do solo. De acordo com Loss et al. (2012), a calagem eleva os teores Ca e Mg e conseqüentemente o pH, principalmente nas camadas superficiais do solo. E, em maiores profundidades, pode estar associados à movimentação de Ca e Mg no perfil do solo, realizado por ácidos orgânicos de baixo peso molecular, liberados pela decomposição das plantas (LOSS et al., 2012) ou por materiais orgânicos adicionados.

Quanto ao Fósforo e o Potássio (Figura 6 **b** e **d**), só foram observadas melhorias das condições do solo nos sistemas iLPF, em especial ao iLPF-O, que foi superior ao iLPF-M, em que foi verificado maior teor de Fósforo na primeira camada e menor concentração de Potássio na segunda.

Na segunda camada, a disponibilidade de fósforo é mínima, independente do tipo de uso e manejo do solo. O teor de Fósforo da camada de 0 a 0,1 m nos sistemas iLPF foi aproximadamente 10 vezes maior do que na segunda camada (aproximadamente 20 e 2 mg  $dm^{-3}$  respectivamente). E entre eles o sistema iLPF-O apresentou aproximadamente 20% a mais de P na solução do solo da primeira camada.

O teor de Potássio na primeira camada não variou entre os sistemas iLPF-M e iLPF-O, porém, na segunda camada de solo, observou-se maior teor de K no ambiente

iLPF com adubação mineral, cerca de  $0,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  a mais do que com a adubação organomineral.

Os maiores teores de P e K nos ambientes iLPF, quando comparados com o CNP, são decorrentes das adubações realizadas nas áreas agrícolas (LOSS et al., 2012).

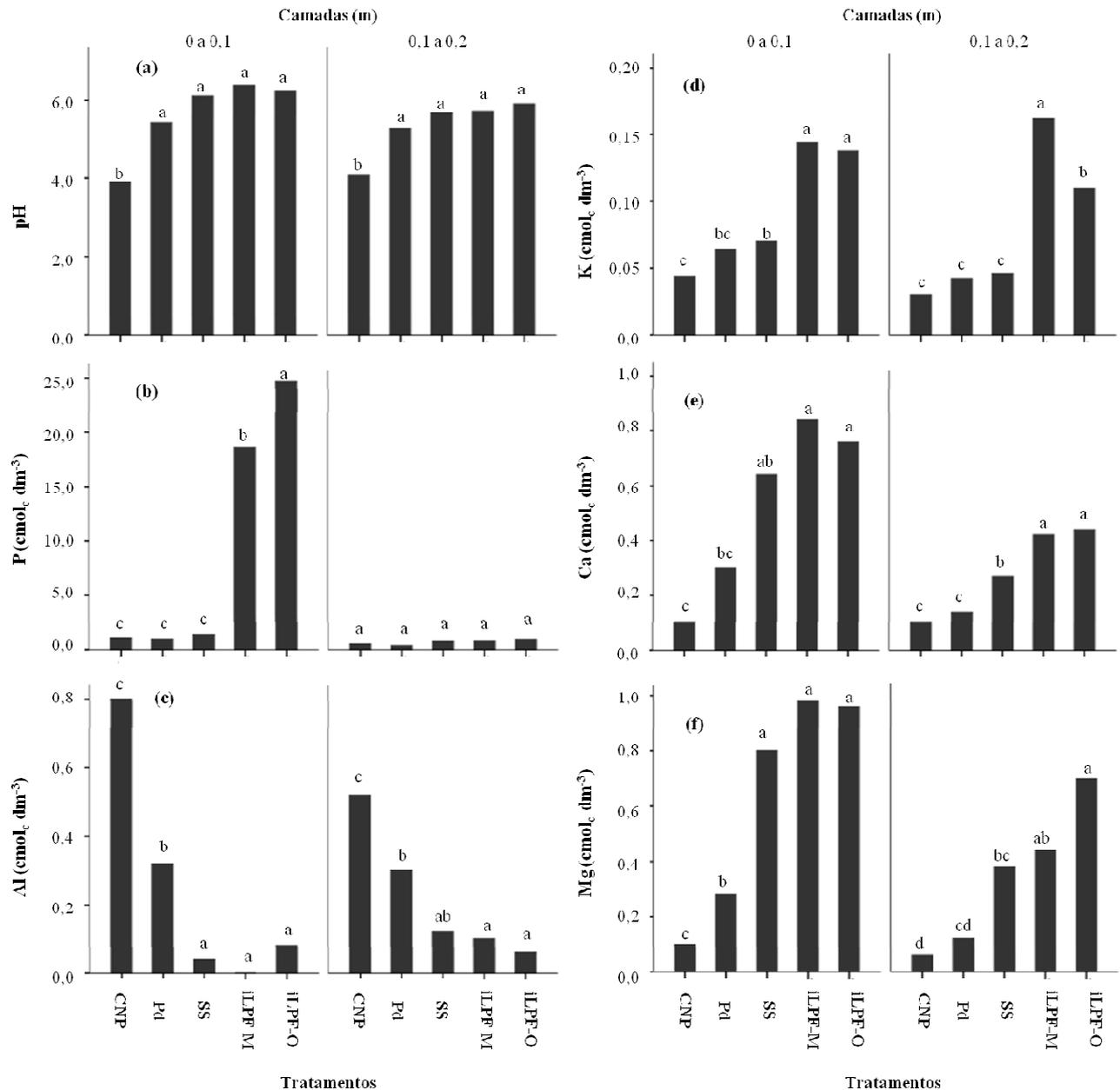
O sistema iLPF-O aumentou a disponibilidade de P na primeira camada e reduziu o teor de K na segunda, o que fez com este sistema se mostrasse mais efetivo da melhoria da qualidade do solo, quanto a estas variáveis.

O fósforo é um elemento dito imóvel no solo e seu problema nos Latossolos de Cerrado é devido sua forte interação com os coloides do solo (AZEVEDO et al., 2004). Já o Potássio apresenta grande mobilidade nestes solos (COSTA et al., 2006, e seu problema é devido a perdas por lixiviação em solos com baixa CTC, de textura média a arenosa (ERNANI et al., 2007).

A maior disponibilidade de P no sistema iLPF-O é devido a menor fixação do P da fonte organomineral, com relação ao P do Fosfato Monoamônico. Os fosfatos de maior solubilidade são mais prontamente disponíveis, favorecem a absorção e o aproveitamento do nutriente pelas culturas (BEDIN et al., 2003). No entanto, essa rápida liberação do P pode também favorecer o processo de adsorção e precipitação das formas solúveis pelos componentes do solo, indisponibilizando o nutriente para as plantas (NOVAIS; SMYTH, 1999). Quando esta fonte solúvel está associada à matéria orgânica, a adsorção do P pelos coloides é minimizada (NEGASSA et al., 2008).

Substâncias orgânicas ali presentes competem pelos mesmos sítios de adsorção de P (NEGASSA et al., 2008), e são adsorvidos à superfície fazendo com que seus ligantes se orientem para a solução, (RAHNEMAIE et al., 2006), favorecendo o surgimento de cargas negativas, ao contrário dos óxidos de ferro e alumínio (RIBEIRO et al., 2011), reduzindo o problema da fixação em solos intemperizados.

Mazuret al. (1983), estudando o efeito da matéria orgânica na disponibilidade de P do superfosfato triplo, verificaram uma elevação de 57% no teor de fósforo disponível devido à associação da matéria orgânica do composto com o superfosfato triplo. Segundo estes autores, a mistura do composto com o superfosfato promoveu menor fixação de fósforo e/ou mineralização da matéria orgânica, liberando P.



**FIGURA 6.** Valor de pH em água (a), e Teores em  $\text{mg dm}^{-3}$  de Fósforo (P) (b), de Alumínio (c), Potássio (K) (d), Cálcio (Ca) (e) e Magnésio (Mg) (f) em  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  nas camadas de 0 a 0,1 e 0,1 a 0,2 m submetido a diferentes tipos de uso e manejo. Tratamentos: CNP – Cerrado Natural Preservado; Pd – Pastagem Degradada; SS – Sistema Silvipastoril; iLPF-M – integração Lavoura-Pecuária-Floresta com adubação mineral; iLPF-O – integração Lavoura-Pecuária-Floresta com adubação organomineral. Valores seguidos da mesma letra não diferem, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade.

Rosolem e Nakagawa (2001) observaram que a lixiviação de Potássio (K), no perfil de um solo de textura média, aumentou muito, quando foram aplicadas doses de  $\text{K}_2\text{O}$  acima de  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  por ano. De acordo com Ernani et al. (2007), em solos de Cerrado onde o poder tampão de K é muito baixo, a matéria orgânica tem grande

importância na disponibilidade de K, pois esta pode adsorver este cátion, diminuindo sua perda por lixiviação.

Outro fato que confere menor lixiviação do K no solo é sua liberação mais lenta, quando o mesmo está associado ao material orgânico. O K pode estar protegido pelo material orgânico ou mesmo fazer parte de sua estrutura como no caso dos adubos verdes, e sua liberação se torna gradual de acordo com a mineralização do material (ERNANI et al., 2007).

## CONCLUSÕES

As características do solo avaliadas se comportaram de maneira diferente na avaliação da melhoria da qualidade do solo pelos diferentes sistemas agrossilvipastoris e seus manejos.

O C-Bio, os estoques de COT e NT não foram bons indicadores da melhoria da qualidade do solo, pois o solo, na condição ideal representado pelo CNP, apresentou os mesmos valores que a Pastagem degradada, assim como os parâmetros de fertilidade.

A implantação dos sistemas SS, iLPF-M e o iLPF-O melhoraram os atributos: PT, a Ma e a Ds do solo.

A adubação organomineral presente no sistema iLPF-O apresentou a maior disponibilidade de P e K.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, R. C.; PORFIRIO-DA-SILVA, V.; GONTIJO NETO, M. M.; VIANA, M. C. M.; VILELA, L. Sistema Integração lavoura-Pecuária-Floresta: condicionamento do solo e intensificação da produção de lavouras. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.31, n.257, p.59-67, 2010.

AZEVEDO, W. R.; FAQUIN, V.; FERNANDES, L. A.; OLIVEIRA JÚNIOR, A. C. Disponibilidade de fósforo para o arroz inundado sob efeito residual de calcário, gesso e esterco de curral aplicados na cultura do feijão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.6, p.995-1004, 2004.

BALESDENT, J.; CHENU, C.; BALABANE, M. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. **Soil and Tillage Research**. Amsterdam, v.53, p.215-230, 2000.

BEDIN, I.; FURTINI NETO, A. E.; RESENDE, A. V.; FAQUIN, V.; TOKURA, A. M.; SANTOS, J. Z. L. Fertilizantes fosfatados e produção da soja em solos com diferentes capacidades tampão de fosfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.4, p.639-646, 2003.

CARDOSO, E. L. **Qualidade do solo em sistemas de pastagens cultivada e nativa na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Mato-Grossense**. 2008. 154 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Departamento de Ciência do Solo. Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

CARDOSO, E. L.; SILVA, M. L. N.; MOREIRA, F. M. de S.; CURI, N. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em pastagem cultivada e nativa no Pantanal. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.44, n.6, p.631-637, 2009.

CARNEIRO, M.A.C.; ASSIS, P.C.R.; MELO, L.B. de C.; PEREIRA, H.S.; PAULINO, H.B.; SILVEIRA NETO, A.N. da. Atributos bioquímicos em dois solos de cerrado sob diferentes sistemas de manejo e uso. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.38, n.4, p.276-283, 2008.

COMISSÃO de fertilidade do solo do estado de minas gerais. (CFSMG) **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. 5. ed. Viçosa: Editora UFV, 1999. 359p.

CORSIN, P.C.; FERRAUDO, A.S. Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.34, n.2, p.289-298, 1999.

COSTA, J. P. V. da; BARROS, N. F. de; ALBUQUERQUE, A. W. de; MOURA FILHO, G.; SANTOS, J. R. Fluxo difusivo de fósforo em função de doses e da umidade do solo. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, Campina Grande, v.10, n.4, p. 828-835, 2006.

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

DICK, D. P.; DICK, Y. P.; SILVA, L. F. da; ESSIG, C.; ZORTEA, B. Caracterização de produtos de decomposição de resíduos orgânicos em diferentes tempos e meios de digestão. **Revista brasileira de ciência do solo**, Campinas, v.21, n.1, p.1-8, 1997.

EMBRAPA Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual e métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa CNPS, 212 p. 1997.

EMBRAPA Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 1.ed. Brasília: Embrapa CNPS, 412 p. 1999.

ERNANI, P. R.; ALMEIDA, J. A.; SANTOS, F. C. Potássio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS/UFV, 2007. p. 551-594.

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

FERREIRA, D. F. SISVAR: Um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, Lavras, v. 6, n.1, p. 36-41, 2008.

FREITAS, D. A. F. de, SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; CURI, N. Índices de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso e manejo florestal e cerrado nativo adjacente. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.43, n.3, p.417-428, 2012.

FRAZÃO, L. A.; SANTANA, I. K. DA S.; CAMPOS, D. V. B. DE; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C. Estoques de carbono e nitrogênio e fração leve da matéria orgânica em Neossolo Quartzarênico sob uso agrícola. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, n.10, p.1198-1204, 2010.

GOMIDES, J. N. **Atributos físicos de Latossolo Vermelho cultivados com cana-de-açúcar e adubado com dejetos de animais de criação intensiva**. 2009. 96 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – ICIAG. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2009.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. **Biology and Fertility of Soil**, [S. l.], v.27, n.4, p.408-416, 1998.

KLEPKER, D.; ANGHINONI, I. Características físicas e químicas do solo afetadas por métodos de preparo e modos de adubação. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Campinas, v.19, n.3, p.395-401, 1995.

KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.F.; AIDAR, H. **Integração lavoura-pecuária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 570p. 2003.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; BEUTLER, S. J.; PERIN, A.; ANJOS, L. H. C. dos. Densidade e fertilidade do solo sob sistemas de plantio direto e de integração lavoura-pecuária no Cerrado. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v.55, n.4, p.260-268, 2012.

MACHADO, R. L. T.; TURATTI, A. L.; MACHADO, A. L. T.; ALONÇO, A. dos S.; REIS, Â. V. Estudo de parâmetros físicos em solo de várzea, antes e após escarificação. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.2, n.3, 175-178, 1996.

MAZUR, N.; SANTOS, G. A.; VELLOSO, A. E. C. Efeito do composto de resíduo urbano na disponibilidade de fósforo em solo ácido. **Revista brasileira de ciência do solo**. Campinas, v.7, n.2, p.153-156, 1983.

MOTA, L. H. da S. de O.; VALLADARES, G. S. Vulnerabilidade à degradação dos solos da Bacia do Acaraú, Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.42, n.1, p.39-50, 2011.

NEGASSA, W.; DULTZ, S.; SCHLICHTING, A.; LEINWEBER, P. Influence of specific organic compounds on phosphorus sorption and distribution in a tropical soil. **Soil Science**, Oxford, v.173, p.587-601, 2008.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, 399 p. 1999.

PEREZ, K.S.S.; RAMOS, M.L.G.; McMANUS, C. Carbono da biomassa microbiana em solo cultivado com soja sob diferentes sistemas de manejo nos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.6, p.567-573, 2004.

PRÉCHAC, F.G. Propriedades físicas y erosion in rotaciones de cultivos y pasturas. **Revista Inia Investigaciones Agronomicas**, Uruguai, v.1, n. especial, p.127-140, 1992.

RAHNEMAIE, R.; HIEMSTRA, T.; RIEMSDIJK, W. H. van. A new surface structural approach to ion adsorption: Tracing the location of electrolyte ions. **Journal of Colloid and Interface Science**, [S. l.], v.293, n.2, p.312-321, 2006.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. **Propriedades Físicas do Solo**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, 18p. 2006.

RIBEIRO, B.T.; LIMA, J.M.; CURI, N.; OLIVEIRA, G.C.; LIMA, P.L.T. Cargas superficiais da fração argila de solos influenciadas pela vinhaça e fósforo. **Química Nova**, São Paulo, v.34, n.1, p.5-10, 2011.

RODRIGUES, N. d'A.; MELO, W.L S.; TARGA, M. S.; BATISTA, G. B. Avaliação do comportamento da água no solo sob cobertura vegetal de eucalipto e pastagem dentro de um ciclo. **In.:** XVI ENIC UNITAU, p.1-10, 2011b.

RODRIGUES, S.; SILVA, A. P. DA; GIAROLA, N. F. B.; ROSA, J. A. Permeabilidade ao ar em latossolo vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, n.1, p.105-114, 2011 a.

ROSOLEM, C. A.; NAKAGAWA, J. Residual and annual potassic fertilization for soybeans. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Amsterdam, v.59, n.2, p.143-149, 2001.

SOUZA, J. A. Efeito do uso de um organomineral de lixo urbano e de doses de adubo químico para produção de matéria seca pela soja em solo erodido. Teste em casa de vegetação. **FAZU em Revista**, Uberaba, v.4, n.1, p.20-25, 2007.

TEDESCO, M. J.; BOHNEM, H.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas, e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 174p. 1995.

TIRITAN, C. S.; SANTOS, D. H.; FOLONI, J. S. S.; ALVES JÚNIOR, R. Adubação fosfatada mineral e organomineral no desenvolvimento do milho. **Colloquium Agrariae**, Presidente Prudente, v. 6, n.1, p. 08-14, 2010.

VENDRAME, P. R. S.; BRITO, O. R.; GUIMARÃES, M. F.; MARTINS, E. S.; BECQUER, T. Fertility and acidity status of Latossolos (Oxisols) under pasture in the Brazilian Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.82, n.4, p.1085-1094, 2010.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.19, n.13, p.1467-1476, 1988.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os sistemas Silvopastoril e de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta são práticas sustentáveis, e são opções para a incorporação de áreas degradadas ou subutilizadas ao processo produtivo. Da mesma forma a adubação Organomineral, que favorece a melhoria da qualidade ambiental dos solos em recuperação. No entanto o reduzido período de estudo possa ter subestimado o real potencial destes sistemas em melhorar a qualidade do solo.

As produtividades das culturas semeadas no sistema de integração Lavoura-Pecuária-Floresta tendem a ser menores. No entanto, o benefício ambiental que as mesmas proporcionam compensam a menor produção.

Os resultados obtidos referentes aos atributos do solo e produtividade dos componentes serão utilizados para comparação com os resultados dos anos subsequentes, para avaliar o real benefício dos sistemas agrossilvipastoris ao final do ciclo, e se podem ser considerados sustentáveis.