

**UFRRJ**  
**INSTITUTO DE FLORESTAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS**  
**AMBIENTAIS E FLORESTAIS**

**DISSERTAÇÃO**

**FORMAS DE FÓSFORO EM SOLOS SOB**  
**POVOAMENTO MONOESPECÍFICOS E MISTOS DE**  
*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* e *Acacia*  
*mangium*

**Wilbert Valkinir Cabreira**

**2019**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS  
AMBIENTAIS E FLORESTAIS**

**FORMAS DE FÓSFORO EM SOLOS SOB POVOAMENTO  
MONOESPECÍFICOS E MISTOS DE *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus  
grandis* e *Acacia mangium***

**WILBERT VALKINIR CABREIRA**

*Sob a Orientação do Professor*  
**Marcos Gervasio Pereira**

*e Co-orientação do Professor*  
**Fabiano de Carvalho Balieiro**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Área de Concentração em Silvicultura.

Seropédica, RJ  
Fevereiro de 2019

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

CC117f Cabreira, Wilbert Valkinir, 10/05/1993-  
FORMAS DE FÓSFORO EM SOLOS SOB POVOAMENTO  
MONOESPECÍFICOS E MISTOS DE Eucalyptus urophylla x  
Eucalyptus grandis e Acacia mangium / Wilbert  
Valkinir Cabreira. - 2019.  
38 f.: il.

Orientador: Marcos Gervasio Pereira.  
Coorientador: Fabiano de Carvalho Balieiro.  
Dissertação (Mestrado). -- Universidade Federal  
Rural do Rio de Janeiro, Ciências Ambientais e  
Florestais, 2019.

1. Fracionamento de fósforo. 2. Plantios  
consorciados. 3. Fertilidade florestal. I. Pereira,  
Marcos Gervasio, 1965-, orient. II. Balieiro, Fabiano  
de Carvalho, 1974-, coorient. III Universidade  
Federal Rural do Rio de Janeiro. Ciências Ambientais  
e Florestais. IV. Título.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de  
Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001


This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível  
Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E  
FLORESTAIS**

**WILBERT VALKINIR CABREIRA**


Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, área de Concentração em Silvicultura.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 18 / 02 / 2019




---

Prof. Dr. Marcos Gervasio Pereira – UFRRJ  
(Orientador)



---

Prof. Dr. Eduardo Vinícius da Silva - UFRRJ



---

Dr. Ademir Fontana – EMBRAPA SOLOS

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por estar sempre comigo durante a minha vida acadêmica.

Aos meus pais, Alcemar e Zenite, por terem me dado condições de estudar e estarem sempre acreditando em mim e aos meus irmãos Herbert, Gerhard e Evelyn e demais familiares por sempre me receberem com muito carinho e amor em todas as visitas de fim de ano e demais feriados.

Agradeço à minha namorada Raissa por estar sempre ao meu lado, seja nos momentos pessoais ou acadêmicos expressando sempre o carinho que sente por mim. Obrigado por ser um ombro amigo e estar sempre apta para dividir a minha carga emocional! E principalmente, obrigado por me ajudar a traduzir todos os textos em inglês utilizados nesse trabalho.

A Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e ao Instituto de Florestas por estarem realizando o curso de Engenharia Florestal.

Ao orientador Marcos Gervasio Pereira e co-orientador Fabiano de Carvalho Balieiro, por toda paciência ao longo de dois anos e que como profissionais trouxeram-me um enorme aprendizado tanto na vida acadêmica como na vida pessoal. Agradeço também pela oportunidade de participar do Laboratório de Gênese e Classificação dos Solos (LGCS), e do Laboratório de Indicadores Edafológicos (LIEA) do qual tiro lições para toda a minha vida acadêmica, profissional e pessoal.

A toda equipe de laboratório que me auxiliaram na realização das análises. Em especial ao Luís, Ramon, Carol e Raissa.

Aos professores membros da banca, Eduardo Vinícius e Ademir Fontana pelo aceite de avaliar este trabalho.

Agradeço a todas as pessoas que passaram em minha vida desde meu ingresso na UFRRJ. Em especial a turma 2012-II pelos momentos de descontração e pelo grande companheirismo nessa jornada no curso de Engenharia Florestal da UFRRJ e colegas de república, pela amizade, momentos de diversão, e principalmente ajuda nos estudos para as avaliações acadêmicas, me passando provas e trabalhos antigos.

## RESUMO

CABREIRA, Wilbert Valkinir. **Formas de fósforo em solos sob povoamento monoespecíficos e mistos de *Eucalyptus grophylla* x *Eucalyptus grandis* e *Acacia mangium***. 2018. 38p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Instituto de Floresta, Departamento de Silvicultura, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2018.

O plantio misto com leguminosas arbóreas fixadoras de nitrogênio (N) pode beneficiar a ciclagem de nutrientes em povoamentos de eucalipto por meio da melhor absorção de fósforo (P) pelo maior aporte de matéria orgânica. Com intuito de esclarecer o efeito dos plantios mistos nos diferentes compartimentos de P e carbono, este estudo tem como objetivo avaliar a ciclagem biogeoquímica do P em plantios florestais de *Eucalyptus urograndis* (*Eucalyptus urophylla* S. T. Blake x *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Spreng) (eucalipto = E) e *Acacia mangium* Willd (acácia = A) em solo tropical de textura argilosa e arenosa, analisando a alteração nos compartimentos do P nas diferentes combinações das espécies (plantios monoespecíficos e mistos) e impactos em futuras rotações no que tange a fertilização. Foram selecionados dois campos experimentais, o primeiro localizado no município de Seropédica-RJ, sobre o solo classificado como Planossolo háplico e o segundo localizado no município de Sinop-MT, este na classe do Latossolo Vermelho-Amarelo, ambos em delineamento de blocos casualizados (n=3) com cinco tratamentos cada. Estes foram: plantios monoespecíficos de eucalipto, com e sem adubação nitrogenada (0A:100E e 0A:100E+N, respectivamente), e de acácia (100A:0E) para ambas as unidades experimentais, além de três arranjos com as espécies em plantio misto: um apresentando 50% da densidade de plantio de árvores de cada espécie (50A:50E – 1.111 árvores ha<sup>-1</sup>), outro mais adensado, com 100% da população das duas espécies (100A:100E – 2.222 árvores ha<sup>-1</sup>), este somente para unidade experimental de Seropédica e outro apresentando densidade de plantio de 33% de árvores de acácia e 67% de árvores de eucalipto (33A:67E). Foram coletadas amostras de solo em duas profundidades (0-5 e 5-10 cm), sendo determinado o carbono lábil (CL), carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP) e carbono orgânico associado aos minerais (COam), além do fósforo total (Pt), fósforo orgânico lábil, moderadamente lábil e resistentemente lábil (Pobic, PoH e PoOH, respectivamente), fósforo inorgânico lábil, moderadamente lábil e resistentemente lábil (Pibic, PiH e PiOH, respectivamente) e fósforo residual (Pres). Em relação carbono no solo, a variável CL se demonstrou como potencial indicadora da qualidade do solo uma vez que foi a única a apresentar valores superiores significativamente nos plantios mistos em ambas as profundidades para ambos os tipos de solo. Em relação ao fósforo no solo, o plantio misto entre o eucalipto e a acácia 50A:50E diminuiu o P inorgânico, porem em compartimentos diferentes conforme a textura do solo. No solo argiloso essa redução ocorreu na fração lábil, enquanto, no solo arenoso na fração moderadamente lábil. Em solos argilosos essa redução ocorre na fração mais lábil, enquanto que em solos arenosos ocorre na fração moderadamente lábil, além disso, o plantio misto entre o eucalipto e a acácia 50A:50E proporcionou uma alta correlação com as frações mais lábeis de carbono e fósforo no solo, apresentando aumentos dos mesmos no sistema.

**Palavras-chave:** Fracionamento de fósforo, Plantios consorciados, fertilidade florestal

## ABSTRACT

CABREIRA, Wilbert Valkinir. **Formas de fósforo em solos sob povoamento monoespecíficos e mistos de *Eucalyptus grophylla* x *Eucalyptus grandis* e *Acacia mangium***. 2018. 38p Dissertation (Master Science in Environment and Forest Science). Forest Institute, Department of Silviculture, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2018.

Mixed planting with nitrogen-fixing tree legumes (N) may benefit a nutrient cycling in eucalyptus plantations through better use of phosphorus. In order to clarify the effect of the plants in the different compartments of P and carbon, this study aims to evaluate the cyclic biogeochemistry of P in *Eucalyptus urophylla* (*Eucalyptus urophylla* ST Blake x *Eucalyptus grandis* L. Hill ex Spreng) (eucalipto = E) and *Acacia mangium* Willd (acacia = A) in tropical clayey and sandy soil, analyzing a variation in the compartments of P in species combinations (monospecific and mixed plantings) and with effect in future rotations with respect to fertilization. Two experimental fields were selected, the first one located in the municipality of Seropédica-RJ, on the soil classified as Planossol haplic and the second located in the municipality of Sinop-MT, in the class of Ferralsol, both in a randomized block design (n = 3) with five treatments each. These were: monospecific eucalypt plantations, with and without nitrogen fertilization (0A: 100E and 0A: 100E + N, respectively), and acacia (100A: 0E) for both experimental units, as well as three arrangements with the planting species (50A: 50E - 1,111 trees ha<sup>-1</sup>), a more denser one, with 100% of the population of both species (100A: 100E - 2,222 trees ha<sup>-1</sup>), this one only for experimental unit of Seropédica and another presenting planting density of 33% of acacia trees and 67% of eucalyptus trees (33A: 67E). Soil samples were collected at two depths (0-5 and 5-10 cm), with the determination of labile carbon (CL), total organic carbon (COT), particulate organic carbon (COp) and organic carbon associated with minerals (COam) (Pib), phosphate (Pt), labile organic phosphorus, moderately labile, and resistant (Pichic, PiH and PiOH, respectively) and residual phosphorus (Pichic, PiH and PiOH, respectively). Pres). Regarding carbon in the soil, the CL variable was shown as a potential indicator of soil quality since it was the only one to present higher values significantly in the mixed plantations at both depths for both types of soil. In relation to phosphorus in the soil, mixed planting between eucalyptus and acacia 50A: 50E decreased inorganic P, but in different compartments depending on soil texture. In the clay soil this reduction occurred in the labile fraction, while in the sandy soil in the moderately labile fraction. In clayey soils, this reduction occurs in the most labile fraction, whereas in sandy soils it occurs in the moderately labile fraction, in addition, the mixed plantation between eucalyptus and acacia 50A: 50E provided a high correlation with the more labile fractions of carbon and phosphorus in the soil, showing increases of the same in the system.

**Keywords:** Phosphorus fractionation, Mixed plantings, Forest nutrition

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Localização geográfica dos municípios de Seropédica, RJ e Sinop, MT. Fonte: Autor..... 8
- Figura 2.** Croqui do delineamento em blocos e da distribuição espacial das árvores de eucalipto e acácia dentro dos tratamentos na unidade experimental de Seropédica-RJ. Fonte: Autor..... 10
- Figura 3.** Croqui do delineamento em blocos e da distribuição espacial das árvores de eucalipto e acácia dentro dos tratamentos na unidade experimental de Sinop. Fonte: Silveira, 2018. .... 12
- Figura 4.** Esquema da técnica do fracionamento P orgânico proposto por Bowman, modificado por Duda. .... 15
- Figura 5.** Distribuição relativa de fósforo orgânico (P orgânico) e geoquímico (P geoquímico) nas profundidades 0-5 (A) e 5-10 (B) cm em áreas de plantio monoespecífico e misto de eucalipto e acácia na unidade experimental de Sinop. .... 17
- Figura 6.** Distribuição relativa de fósforo orgânico (P orgânico) e geoquímico (P geoquímico) nas profundidades 0-5 (A) e 5-10 (B) cm em áreas de plantio monoespecífico e misto de eucalipto e acácia na unidade experimental de Seropédica. .... 22
- Figura 7.** Diagrama de ordenação usando análise de componentes principais das características avaliadas no solo amostras coletadas na camada de 0-5 cm na unidade experimental de Sinop. .... 24
- Figura 8.** Diagrama de ordenação usando análise de componentes principais das características avaliadas no solo amostras coletadas na camada de 0-5 cm na unidade experimental de Seropédica. .... 25
- Figura 9.** Análise hierárquico de agrupamentos das variáveis de carbono e fósforo das profundidades 0-5 e 5-10 cm em áreas de plantio monoespecífico e misto de eucalipto e acácia na unidade experimental de Seropédica (terminal Se) e Sinop (terminal Si). .... 26



## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Caracterização da fertilidade e textura do solo nas profundidades 0-10 e 10-20 cm da área experimental de Seropédica –RJ, realizada previamente ao início do experimento (2009). .....9
- Tabela 2.** Caracterização da fertilidade e textura do solo nas profundidades 0-20, 20-40, 40-60 cm da área experimental de Sinop –MT, realizada previamente ao início do experimento (2014). .....9
- Tabela 3.** Composição, densidade e arranjo utilizados nos tratamentos alocados na unidade experimental de Seropédica.....9
- Tabela 4.** Composição, densidade e arranjo das árvores de eucalipto e acácia alocados na unidade experimental de Sinop..... 11
- Tabela 5.** Fósforo total (Pt) do solo nas profundidades 0-5 e 5-10 cm em áreas de plantio monoespecífico e misto de eucalipto e acácia na unidade experimental de Sinop..... 16
- Tabela 6.** Níveis de fósforo orgânico e inorgânico das frações lábeis, moderadamente lábeis e resistentemente lábeis além do fósforo residual nas profundidades 0-5 e 5-10 cm em áreas de plantio monoespecífico e misto de eucalipto e acácia na unidade experimental de Sinop. .... 18
- Tabela 7.** Teores de carbono orgânico total, particulado, associado aos minerais e carbono lábil do solo nas profundidades 0-5 e 5-10 cm em áreas de plantio monoespecífico de eucalipto e acácia e o misto das espécies na unidade experimental de Sinop. .... 19
- Tabela 8.** Fósforo total (Pt) do solo nas profundidades 0-5 e 5-10 cm em áreas de plantio monoespecífico e misto de eucalipto e acácia na unidade experimental de Seropédica. .... 21
- Tabela 9.** Níveis de fósforo orgânico e inorgânico das frações lábeis, moderadamente lábeis e resistentemente lábeis além do fósforo residual nas profundidades 0-5 e 5-10 cm em áreas de plantio monoespecífico e misto de eucalipto e acácia na unidade experimental de Seropédica. .... 22
- Tabela 10.** Teores de carbono orgânico total, particulado, associado aos minerais e carbono lábil do solo nas profundidades 0-5 e 5-10 cm em áreas de plantio monoespecífico de eucalipto e acácia e o consórcio das espécies na unidade experimental de Seropédica. .... 23

## LISTA DE ABREVIACOES E SÍMBOLOS

Pibic	Fósforo inorgânico lábil
PiH	Fósforo inorgânico moderadamente lábil
PiOH	Fósforo inorgânico resistentemente lábil
Pobic	Fósforo orgânico lábil
PoH	Fósforo orgânico moderadamente lábil
PoOH	Fósforo orgânico resistentemente lábil
Pres	Fósforo residual
Pt	Fósforo total
COT	Carbono orgânico total
COp	Carbono orgânico particulado
COam	Carbono orgânico associado aos minerais

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	viii
LISTA DE TABELAS .....	ix
LISTA DE ABREVIACOES E SÍMBOLOS .....	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISO DE LITERATURA .....	2
2.1 Povoamentos de eucalipto e acácia em consórcio .....	2
2.2 Matéria orgânica no solo .....	4
2.3 Fósforo no solo .....	5
3. HIPÓTESE .....	7
4. OBJETIVOS .....	7
4.1 Objetivo geral .....	7
4.2 Objetivo específicos .....	7
5. MATERIAL E MÉTODOS.....	7
5.1 Localização e caracterização das unidades experimentais .....	7
5.2 Delineamento experimental e histórico da rea.....	9
5.2.1 Campo experimental de Seropédica .....	9
5.2.2 Campo experimental de Sinop.....	11
5.3 Amostragem de solo .....	12
5.4 Fracionamento granulométrico da matéria orgânica .....	12
5.5 Carbono lábil (CL) .....	13
5.5 Fracionamento do fósforo (P).....	13
5.6 Análises estatísticas .....	15
6. RESULTADOS E DISCUSSO .....	16
6.1 Unidade experimental de Sinop.....	16
6.1.1 Dinâmica do fósforo .....	16
6.1.2 Carbono no solo.....	19
6.2 Unidade experimental de Seropédica .....	21

6.2.1 Dinâmica do fósforo .....	21
6.2.2 Carbono no solo.....	23
6.3 Correlações entre os compartimentos orgânicos de carbono e fósforo .....	24
7. CONCLUSÕES .....	26
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	27

## 1. INTRODUÇÃO

O agronegócio florestal tem-se tornado, nos últimos anos, um dos mais relevantes no cenário global (FAO, 2015). Com uma área plantada de 7,84 milhões de hectares em 2016 no Brasil, 72,7% desse montante é ocupado por espécies do gênero *Eucalyptus* (IBÁ, 2017) plantadas quase que exclusivamente em monocultivo, em solo ácidos e de baixa fertilidade. Características como crescimento rápido, alta produtividade e adaptabilidade a condições variáveis de solo e clima, tolerância a acidez, toxicidade a Al e baixa saturação por bases, explicam uma proporção alta do cultivo total em florestas plantadas no Brasil (COSTA et al., 2016). Contudo, o manejo sustentável do solo nesses cultivos florestais é preocupação de empresas, produtores e pesquisadores brasileiros, especialmente em cultivos extensivos de eucalipto, devido à intensificação das práticas culturais e encurtamento do tempo das rotações (PEGORARO et al., 2014).

O fato de o eucalipto ser cultivado predominantemente em sistema monoespecífico, abrangendo extensas áreas de solos de baixa fertilidade, estimula o desafio de se encontrar novos arranjos de plantio e de manejo que possam melhorar a qualidade desses solos, a produtividade do setor e seu potencial de receber novos investimentos (SANTOS et al., 2010). A complementariedade de nichos para obtenção de luz, água e nutrientes tem sido determinante para que plantios mistos de *Eucalyptus* e *Acacia mangium* Willd. atinjam maior acúmulo de biomassa madeira que monocultivos (BOUILLET et al., 2013; SANTOS et al., 2016). Mais recentemente SANTOS et al. (2017a) demonstraram que em solo arenoso e sob plantios mistos a decomposição da liteira é acelerada em decorrência da sinergia que seus resíduos adicionam ao processo. A acácia, que recicla interna e eficientemente o P (INAGAKI et al., 2011, deposita sobre o solo um resíduo relação N:P alta, mas que é compensado pelo resíduo pobre em N e mais concentrado em P do eucalipto, intensificando a decomposição da serapilheira (SANTOS et al., 2017b). Da mesma forma, Paula et al. (2018) reportaram aumento da taxa de fixação biológica de N<sub>2</sub> pela *Acacia mangium* em condições de plantios mistos que sob condições de monocultivos. Com isso, plantios mistos com leguminosas arbóreas fixadoras de N<sub>2</sub> vem sendo estudado como alternativa promissora ao monocultivo, pois pode proporcionar a intensificação da ciclagem biogeoquímica de nutrientes, em favor da melhoria dos estoques de carbono do solo e, por consequência, sua qualidade (BALIEIRO et al., 2008; FORRESTER et al., 2005; SANTOS et al., 2017a).

O fósforo, apesar de muitas vezes ocorrer em quantidades consideráveis no solo, é o elemento que mais limita a produção florestal (TURNER e ENGELBRECHT, 2011; COSTA et al., 2016). Este problema ocorre principalmente em solos altamente intemperizados, como a maioria das áreas tropicais e subtropicais, e é caracterizado por um baixo teor de P total e P disponível, devido a alta capacidade de fixação de P, com imobilização do P pelos óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio (COSTAS et al., 2016). A avaliação de plantios consorciados sobre a disponibilidade e dinâmica de P no solo tem sido pouco estudada e merece atenção dado a necessidade de reposição do elemento em rotações sucessivas (KAYE et al., 2000; BALIEIRO et al., 2002) e a possibilidade do mesmo limitar o processo de humificação e estocagem de C do solo como discutido por Kirkby et al. (2011) e Kirkby et al. (2013). Estes autores atestaram que a suplementação em N, P e S em solos que recebem resíduos com altos teores de C, mas com baixos teores de nutrientes, tem maior eficiência de humificação.

A avaliação de plantios consorciados sobre a dinâmica e a disponibilidade de P no solo, pode ser realizada por meio da utilização do fracionamento de P (GODINHO, 2015). Com o fracionamento, é possível o entendimento mais amplo das transformações do P no solo, por quantificar não apenas o P lábil, mas também as frações de menor labilidade e o P

total no solo (GATIBONI et al., 2013). Além disso, por meio dele é possível quantificar o P orgânico, no qual seu conhecimento visto que pode contribuir para a manutenção da produtividade agrícola com o declínio dos insumos convencionais de fertilizantes (STUTTER et al., 2012).

O principal processo de adição de material orgânico ao solo tem a planta como componente ativo (DICK et al., 2009), onde as formas de uso e manejo do solo são responsáveis pela entrada de carbono no sistema (BALIN et al., 2017). Assim, as alterações pelo manejo associadas às tentativas de recuperação do solo podem ser quantificadas através do fracionamento físico da matéria orgânica (MO) e carbono lábil. Em curto prazo, alterações na proporção das frações lábeis da MO, podem fornecer informações importantes sobre a sustentabilidade ambiental e sobre a qualidade do solo, permitindo correções nas estratégias de uso e de manejo adotadas (SANTOS, 2013).

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Povoamentos de eucalipto e acácia em consórcio**

O eucalipto está entre as principais fontes de matéria-prima para a produção de celulose e de carvão vegetal para siderurgia e fábricas de cimento, bem como para serrarias, postes, óleos essenciais, entre outras finalidades (LIMA, 1996). Em 2016, o Brasil manteve sua liderança no ranking global de produtividade florestal. A produtividade média dos plantios de eucalipto no Brasil, reportada pelas principais empresas de base florestal, foi de 35,7 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (IBÁ, 2017).

O eucalipto é uma árvore nativa da Austrália, do Timor e da Indonésia, sendo exótico em todas as outras partes do mundo. Os primeiros plantios datam do início do século XVIII, na Europa, na Ásia e na África. Já no século XIX, começou a ser plantado em países como Espanha, Índia, Brasil, Argentina e Portugal (PRYOR et al., 1976). Sua expansão foi impulsionada a partir de meados de 1960, com o estabelecimento do programa de incentivos fiscais, que visava à sua utilização como matéria-prima nas indústrias, sobretudo, para obter celulose e energia (LIMA, 1987), sendo um dos gêneros mais amplamente utilizado nas indústrias globais de madeira da plantação comercial (JAMES e DEL LUNGO, 2005).

A acácia, espécie arbórea leguminosa, pertencente à subfamília Mimosoideae, capaz de associar-se simbioticamente com bactérias e fixa nitrogênio atmosférico. Encontra-se em uma área de distribuição natural fragmentada, que abrange o leste da Indonésia, província oeste de Papua Nova Guiné, e o nordeste do Estado de Queensland, na Austrália (KEONG, 1983). É uma espécie de rápido crescimento e de vida entre 30 e 50 anos. Adaptada a uma larga faixa de solos (pH em H<sub>2</sub>O de 4,5 a 6,5) nos trópicos úmidos, com um bom crescimento em uma grande variedade de tipos de solos, de média a baixa fertilidade (VADEZ et al., 1995).

A espécie é perenifólia, com altura superior a 30 metros e diâmetro máximo de 60 cm. O tronco é reto, com tendência à ramificação, casca de cor cinza-claro a marrom e galhos finos, formando uma copa densa de forma oval. Suas flores são hermafroditas e, os frutos do tipo vagem, espiralados ou torcidos. Quanto maduros, são marrons, curtos e deiscentes, apresentando sementes pretas, pequenas e pendentes na vagem por um arilo alaranjado (TONINI e HALFELDVIEIRA, 2010). Destaca-se pela rusticidade e adaptabilidade às condições edafoclimáticas adversas, pelo rápido crescimento, elevada produção de biomassa e capacidade de formar simbioses com microrganismos do solo (COLONNA et al., 1991).

Possuindo potencial de uso em recuperação de áreas degradadas, possibilitando a produção de celulose, carvão, madeira e demais produtos (EMBRAPA, 1999).

As acácias, em seu ambiente natural, são espécies pioneiras, com um bom crescimento, e utilizadas como produto madeireiro e não madeireiro (VOIGTLAENDER, 2012). A madeira é facilmente processada para celulose, por processos semiquímicos como sulfato ou sulfite neutro, produzindo polpa com excelentes propriedades para papel (UDARBE e HEPBURN, 1986) e, atingindo altos níveis de branqueamento (LOGAN, 1986). O peso específico (0,4 - 0,6 kg m<sup>-3</sup>), o coeficiente de flexibilidade (75,3%) e a dureza de sua madeira são similares aos das melhores madeiras para a produção de móveis (ATIPANUMPAI, 1989). A acácia possui um grande potencial para a melhoria da qualidade do solo, contribuindo para a formação da cobertura verde, fornecimento de nitrogênio e o aumento das reservas de matéria orgânica no solo (SCHUMACHER et al., 2003).

Plantios mistos podem proporcionar melhorias na estrutura do solo, aumentar o teor de matéria orgânica e a disponibilidade de nutrientes, além de promover condições ecofisiológicas favoráveis ao crescimento das árvores (GAMA-RODRIGUES, 1997). No consórcio, as árvores de cada espécie apresentam diferenças no crescimento fenológico, na conformação da copa, no sistema radicular e na exigência nutricional. Nesta situação, as plantas de diferentes espécies podem complementar-se na captação de radiação solar, de água e de nutrientes, resultando numa movimentação diferenciada de nutrientes no solo em comparação com um plantio simples (VEZZANI et al., 2001).

No consórcio de uma leguminosa arbórea com eucalipto, a utilização do solo é mais eficiente, tanto física como quimicamente, em função das diferenças no sistema radicular e na exigência nutricional das espécies (KLEINPAUL et al., 2010). A introdução de espécies leguminosas em povoamentos de eucaliptos nos solos de baixa fertilidade pode aumentar a capacidade de uso dos nutrientes uma vez que estes nutrientes são incorporados à biomassa e devolvidos ao solo via serapilheira, contribuindo com a manutenção ou restauração da fertilidade do solo (LI et al., 2001).

No Brasil, observaram-se respostas positivas de plantios mistos de espécies de eucalipto e espécies leguminosas, em especial em locais com baixa fertilidade do solo (BALIEIRO et al., 2008; BOUILLET et al., 2013; SANTOS et al., 2016). Sendo instalados experimentos em diversos estados, como Rio Grande do Sul (VEZZANI et al., 2001; KLEINPAUL, 2010; VIERA et al., 2011), São Paulo (COELHO et al., 2007; LACLAU et al., 2008), Rio de Janeiro (BALIEIRO et al., 2008; MENDONÇA et al., 2008; SANTOS et al., 2016), Minas Gerais (GODINHO, 2015) e Mato Grosso (SILVEIRA, 2018). Uma maior produtividade dos plantios mistos em relação aos plantios monoespecíficos, ocorre somente quando a interação entre as duas espécies aumenta a eficiência de uso de uma fonte de nutriente (BAUHUS et al., 2000), e isso se deve especialmente à alta taxa de ciclagem de nutrientes. Por isso, é importante selecionar espécies fixadoras de N<sub>2</sub>, com fácil decomposição de serapilheira e alta taxa de ciclagem de nutrientes, assim como alta capacidade de fixação de N<sub>2</sub> (FORRESTER et al., 2006). Com isso, tomar conhecimento dos fatores locais como, disponibilidade de água e nutrientes e de alguns atributos das espécies em plantios consorciados pode melhorar a probabilidade de sucesso do consórcio (FORRESTER et al., 2005).

## 2.2 Matéria orgânica no solo

Em ecossistemas terrestres, a matéria orgânica do solo (MOS) é importante reservatório de carbono (LEITE, 2004). Em média, o solo contém 2,5 vezes mais carbono (C) do que a atmosfera (BATJES et al., 1998), portanto merece considerável atenção por causa do potencial de sequestro de C. Conforme a dinâmica da MOS as plantas e, associada a esta, os micro-organismos são os principais responsáveis pela adição de compostos orgânicos ao solo compondo a MO (LOVATO et al., 2004).

Compreende-se por MOS todo carbono orgânico presente no solo na forma de resíduos frescos ou em diversos estágios de decomposição, compostos humificados e materiais carbonizados, associados ou não à fração mineral (ROSCOE e MACHADO, 2002). A MO é um componente dinâmico do solo, sensível ao manejo realizado e, mesmo representando no máximo a 5 % do solo, esta quantidade determina a produtividade do solo e a sustentabilidade do sistema (BEBÉR, 2011; BAYER e BERTOL, 1999). Segundo Bayer e Bertol (1999), a matéria orgânica é um dos atributos de solo mais sensíveis às transformações desencadeadas pela ação antrópica, principalmente pelos sistemas de manejo. Alterações causadas pelo homem ao meio ambiente, através do uso demasiado ou manejo inadequado do solo podem ser quantificadas através da análise da matéria orgânica do solo (BAYER et al., 2004).

A dinâmica da MO do solo é dependente da manutenção do equilíbrio dos fluxos de entrada e saída durante um período de tempo (SALTON et al., 2005). Para clima tropical há alguns fatores que estão relacionados com a dinâmica da MOS, tais como mineralogia e textura do solo, clima, teor de MO, uso e manejo do solo (sistema de preparo do solo e sistema de culturas) (TAN et al., 2013). A redução da MOS pode comprometer a sustentabilidade da produção florestal em razão de seu efeito em processos relacionados à disponibilidade de água e de nutrientes para as plantas (NAMBIAR, 1999). Quando o solo passa a ser cultivado, as taxas de acúmulo ou perdas de MOS variam de acordo com as características de cada tipo de solo, dos sistemas de culturas, do sistema de preparo do solo e das condições climáticas, que aceleram ou retardam os processos de decomposição dos resíduos e de síntese e decomposição da MOS (SANCHEZ, 1976).

A MOS é considerada por muitos autores como indicador-chave da qualidade do solo, pois atua como fonte de nutrientes, aumenta a retenção de cátions, atua na complexação de metais, é fonte de C e energia aos microrganismos do solo, além de auxiliar na infiltração e retenção de água, funcionando como componente fundamental na manutenção da sustentabilidade dos solos (MIELNICZUK, 2008; VEZZANI e MIELNICZUK, 2009). Sem a presença da matéria orgânica, a superfície terrestre seria uma mistura estéril de minerais intemperizados (LEITE, 2004).

Os estudos da MOS tentam justamente reduzir esta heterogeneidade, procurando separar as frações quanto a natureza, dinâmica e função, mas ao mesmo tempo suficientemente diferentes umas das outras (CHRISTENSEN, 2000; ROSCOE e MACHADO, 2002).

O fracionamento físico da MOS tem sido uma ferramenta útil para entender o comportamento da MO no solo, pois a sua separação em frações fornece maiores informações com relação à funcionalidade da MOS em relação ao método de fracionamento químico (WANDER e TRAINA, 1996). As técnicas de fracionamento físico da MOS podem basear-se na densidade, na granulometria ou em uma combinação de ambos os métodos e permitem a separação de frações relacionadas com a dinâmica no estado natural (ROSCOE e MACHADO, 2002). As diferentes formas de fracionamento utilizadas nos estudos da MOS



tentam reduzir a heterogeneidade das frações húmicas, procurando separar frações homogêneas quanto à natureza, dinâmica e função, mas ao mesmo tempo, que sejam suficientemente diferentes entre si (CHRISTENSEN, 2000).

O fracionamento granulométrico baseia-se no diferente tamanho entre as partículas do solo e é muito utilizado, porque sua execução é bastante simples e permite o estudo dos compartimentos mais humificados e tipicamente mais estáveis às mudanças no ambiente do solo (FREIXO et al., 2002). O fracionamento granulométrico da MOS consiste na separação de duas frações orgânicas: o carbono orgânico particulado (COp) e o carbono orgânico associado aos minerais (COam) (CAMBARDELLA e ELLIOTT, 1992). O COp é a fração da MOS separada por dispersão e peneiramento do solo associada à fração areia (COp > 53 $\mu$ m), sendo caracterizado como partículas derivadas de resíduos de plantas e hifas com estruturas celulares reconhecíveis, cuja permanência no solo está condicionada à proteção física desempenhada por agregados (GOLCHIN et al., 1994). O COam é a fração da MOS associada às frações silte e argila (COam < 53 $\mu$ m), sendo definida como a fração da MOS que interage com a superfície de partículas minerais, formando os complexos organominerais, estando protegida pelo mecanismo de proteção coloidal (CHRISTENSEN, 1996).

A utilização de indicadores que se baseiam na extração e/ou quantificação do carbono da MOS, em especial o das frações de maior labilidade e sensibilidade, têm elevadas possibilidades de serem mais adequados para a avaliação da qualidade do solo, além da praticidade e velocidade de obtenção dos resultados (SILVA, 2014). A fração lábil da MOS é constituída por resíduos de plantas em decomposição, formas solúveis em água, macrofauna edáfica e biomassa microbiana. Já os componentes mais estáveis da MOS são resistentes ao ataque microbiano e podem persistir no solo por centenas de anos, seja por sua estrutura molecular recalcitrante ou por estarem fisicamente protegidos em complexos organominerais no interior dos agregados (PASSOS et al., 2007; SILVA e MENDONÇA, 2007; ROSCOE et al., 2006). O carbono lábil (CL) é aquele constituinte de compostos orgânicos mais facilmente mineralizados pelos microrganismos, possuindo elevada correlação com a biomassa microbiana do solo (GHANI et al., 2003; RANGEL et al., 2008).

### 2.3 Fósforo no solo

Apesar do fósforo (P) ser o décimo segundo elemento químico mais abundante na crosta terrestre (SCHULZE, 1989), é o segundo elemento químico mais limitante na produtividade nos solos tropicais (HOLFORD, 1997). Em geral, o teor total deste elemento no solo varia entre 200 a 3000 mg kg<sup>-1</sup> (NOVAIS e SMYTH, 1999), sendo que menos de 0,1 % desse total encontra-se na solução do solo. O P é um dos nutrientes essenciais para a sobrevivência das plantas, é um macronutriente essencial exigido em menor quantidade pelas plantas (RAIJ, 1991).

A quantidade de P disponível no solo para utilização imediata das plantas é considerada baixa por causa da grande reatividade e da alta taxa de retenção de P na fase sólida do solo (STUTTER et al., 2015). Em solos cultivados, onde há adições periódicas de fosfatos, o sistema de manejo determina alterações na distribuição das frações e das concentrações de P no perfil do solo e, mais especificamente, no horizonte superficial (SANTOS et al., 2008).

Fatores como altos teores de minerais 1:1, como a caulinita e, os óxidos e hidróxidos de Fe e Al, baixo pH, entre outros, limitam a quantidade de P em forma assimilável pelas plantas. Podendo ser encontrado em formas orgânicas (Po) e inorgânicas (Pi), sendo a formas

orgânicas de extrema importância no P disponível em solos tropicais (NOVAIS e SMYTH, 1999; SANTOS et al., 2008).

O Po apresenta grande importância, pois este é, em grande parte, lábil e moderadamente lábil e atua na reposição do P na solução do solo quando este é absorvido pelas plantas (GUERRA et al., 1996; CUNHA et al., 2007; DIETER et al., 2010). Sua importância aumenta nas condições de deficiência de P, resultante dos baixos teores totais de P e, ou, forte adsorção de P pelos oxihidróxidos de Fe e Al no solo. Nessas condições, a ciclagem de formas orgânicas mais lábeis é acelerada, sendo mais importante em solos tropicais altamente intemperizados (SILVA e MENDONÇA, 2007).

A matéria orgânica do solo é um importante controlador da dinâmica de Po no solo e o seu incremento aumenta também a proporção de P orgânico em relação às quantidades totais de P (HARRISON, 1987). A fração orgânica do solo pode ser derivada dos resíduos de plantas, tecidos da flora e fauna do solo e resíduos que resistem à rápida hidrólise. A quantificação do Po é necessária para melhor entender a mineralização e imobilização do P em particular sob sistemas de cultivo (KUO, 1996). O Po pode constituir entre 5 a 80% do P total do solo e, nos solos tropicais, com baixa adição de insumos é a principal fonte do nutriente às plantas e deve ser levado em consideração em estudos envolvendo a sua dinâmica e a sua disponibilidade (CROSS e SCHLESINGER, 1995; RHEINHEIMER e ANGHIONI, 2003).

O Pi compreende o íon fosfato na solução do solo (P-solução), todas as formas precipitadas com  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{2+}$  e  $Ca^{2+}$  e adsorvidas aos oxi-hidróxidos de Fe e de Al da fração argila e, ainda, as formas estruturais dos minerais fosfatados (GATIBONI et al., 2013). A fração inorgânica está presente em três formas no solo: P-solúvel na solução do solo; P-lábil, que pode estar precipitado ou adsorvido na parte sólida do solo, porém em equilíbrio com o fósforo da solução; e o P-não lábil, cuja passagem para solução do solo é situada de forma lenta (LARSEN, 1967). Em solos novos, os processos geoquímicos são dominantes e o P da solução é proveniente, principalmente, das frações inorgânicas de P do solo. A entrada é muito pequena nos solos altamente resistentes, onde a fonte principal na solução resulta da mineralização do Po (GRIERSON et al., 2004).

O manejo do solo e o tipo de vegetação influenciam as formas de P no solo, principalmente as formas orgânicas, por estarem diretamente relacionadas à atividade biológica do solo (CONTE et al., 2002). Ao buscar, o entendimento da dinâmica das frações de P no solo, deve-se levar em conta, além das transformações químicas do elemento no solo, a atuação constante de organismos, principalmente, as plantas e a biomassa microbiana do solo (GATIBONI et al., 2013). Sistemas de manejo que promovem adição de matéria orgânica ao solo também contribuem para o aumento de formas mais lábeis de P, com diminuição da adsorção e conseqüente aumento da disponibilidade de P para as plantas (ANDRADE et al., 2003).

O P lábil é a fração do P total do solo que está disponível em curto prazo para a biota do solo e para a absorção da comunidade vegetal, em razão de ser rapidamente desorvido da superfície dos minerais do solo ou pela mineralização do Po (TIESSEN e MOIR, 1993; CROSS e SCHLESINGER, 1995). Em ecossistemas não perturbados, a fração inorgânica lábil de P é pequena e as plantas utilizam o P oriundo do processo de mineralização dos resíduos de plantas e animais pelos microorganismos (TOKURA, 2001). A forma de P precipitado com Fe e Al, mais aquela adsorvida em óxidos de Fe e Al, representam o P moderadamente lábil, que podem ser removidos da solução do solo via adsorção por ligações covalentes de alta energia, enquanto o P pouco lábil corresponde aos compostos fosfatados mais complexos e estáveis (RAIJ, 1991). As dinâmicas das formas de P inorgânico e orgânico

dependem do manejo dado ao solo, refletindo na habilidade das plantas utilizarem as reservas de P nas formas menos lábeis (MATOS et al., 2006; GATIBONI et al., 2007).

### **3. HIPÓTESE**

A demanda por fósforo e a elevada eficiência de ciclagem interna pela *Acacia mangium* Willd. (INAGAKI et al., 2011) diminuirá a reserva de P inorgânico do solo, quanto maior for a proporção dela nos plantios mistos. Por outro lado, sob maior competição pelo P do solo as espécies tenderão a intensificar os processos subterrâneos, com aumento do crescimento e densidade radicular, da atividade enzimática e interações microbianas (BINI et al., 2018; BOUILLET et al., 2008; SANTOS et al., 2017a), tendo como resultado líquido o aumento dos teores de carbono e do P orgânico.

### **4. OBJETIVOS**

#### **4.1 Objetivo geral**

Avaliar a ciclagem biogeoquímica do P em plantios florestais de *Eucalyptus urograndis* (*Eucalyptus urophylla* S. T. Blake x *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Spreng) e *Acacia mangium* Willd em diferentes tipos de solos tropicais, analisando a alteração nos compartimentos do P nas diferentes combinações das espécies (plantios monoespecíficos e mistos) e impactos em futuras rotações no que tange a fertilização.

#### **4.2 Objetivo específicos**

Quantificar os teores de carbono lábil, associado às partículas e minerais em função dos cultivos monoespecíficos e mistos de eucalipto e acácia em diferentes tipos de solos tropicais.

Determinar os teores de fósforo quanto aos seus compartimentos no solo em função dos cultivos monoespecíficos e mistos de eucalipto e acácia em diferentes tipos de solos tropicais.

### **5. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **5.1 Localização e caracterização das unidades experimentais**

O estudo foi realizado em duas unidades experimentais, localizadas nos municípios de Seropédica, no estado do Rio de Janeiro e Sinop, estado do Mato Grosso (Figura 1).

A unidade experimental de Seropédica, está localizada no Campo Experimental da Embrapa Agrobiologia. O clima local, segundo a classificação de Köppen, é do tipo tropical úmido (Aw), com verões chuvosos e invernos secos. As médias anuais de temperatura e precipitação dos últimos 20 anos da estação meteorológica da PESAGRO-RJ, a mais próxima ao local do experimento são, respectivamente, 23,7 °C, 1.275 mm, com umidade relativa do ar de 69,3% (ALONSO et al., 2015).

Já a unidade experimental de Sinop, está localizada no Campo Experimental da Embrapa Agrossilvipastoril. O clima local, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Am (clima de monção). A média pluviométrica anual da região em 2017 foi de 2.250 mm, com temperatura média anual em torno de 25,8°C (EMBRAPA, 2017), e a umidade relativa do ar média anual é de 77% (INMET, 2017).

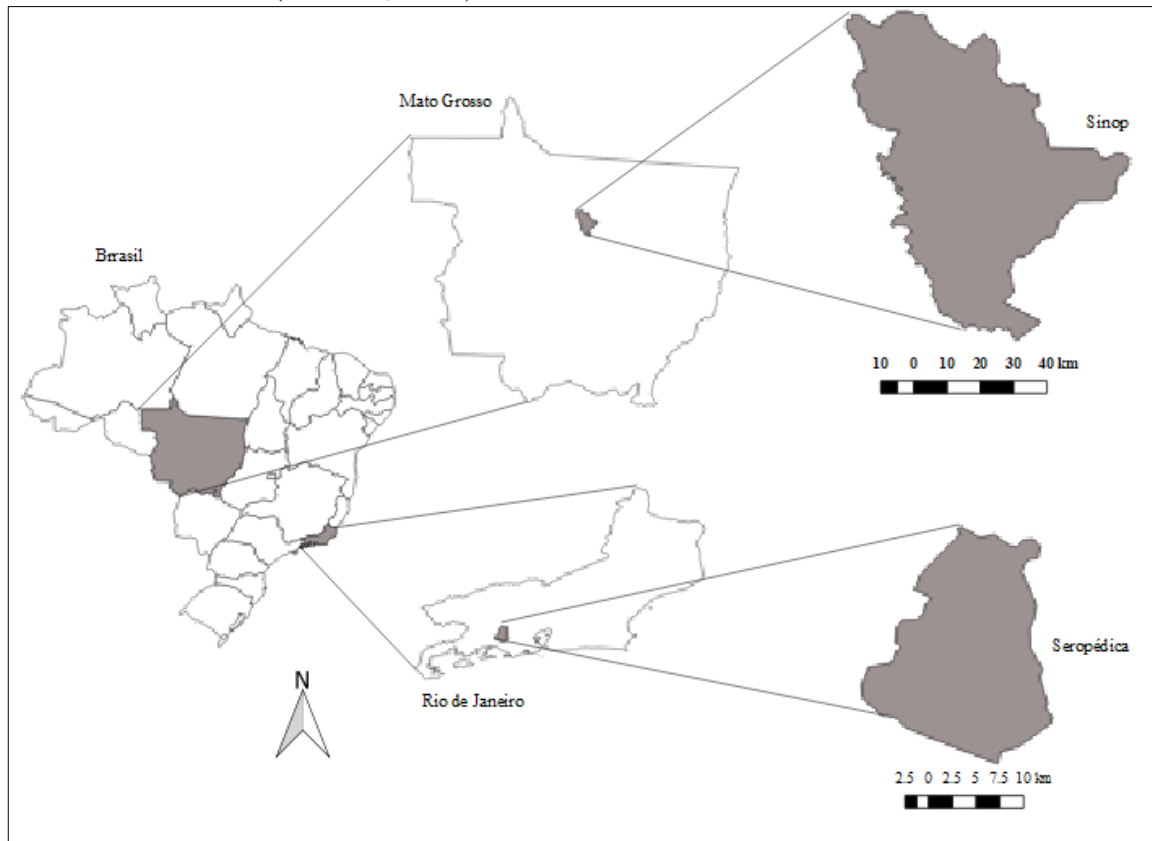


Figura 1. Localização geográfica dos municípios de Seropédica, RJ e Sinop, MT. Fonte: Autor.

Na unidade experimental localizada em Seropédica, o solo da área foi classificado como Planossolo Háptico (RAMOS et al., 1983; SANTOS et al., 2018), com um horizonte superficial bastante arenoso, formado pela eluviação de argila, e um horizonte glei em profundidade variada, caracterizado pela textura mais argilosa e pela influência do lençol freático em pontos mais baixos da topossequência. Este solo é tipicamente distrófico e com baixa capacidade de retenção e estocagem de carbono (Tabela 1), sendo as variações desses atributos dependentes da localização na topossequência (BALIEIRO et al., 2008).

Já a unidade experimental localizada em Sinop, o solo foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico, textura muito argilosa, a moderado, relevo plano. Com um perfil profundo, homogêneo e bem característico da classe (VIANA et al., 2015). Uma caracterização do sítio de estudo em momento anterior ao experimento é apresentada na tabela 2.

Tabela 1. Caracterização da fertilidade e textura do solo nas profundidades 0-10 e 10-20 cm da área experimental de Seropédica –RJ, realizada previamente ao início do experimento (2009).

Profundidade	pH	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Al <sup>+3</sup>	H+Al	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	P*	C.O	Areia	Silte	Argila
Cm	H <sub>2</sub> O	-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup> -----				-----mg dm <sup>-3</sup> -----		-----g kg <sup>-1</sup> -----				
<b>0-10</b>	4,87	0,46	0,69	0,13	2,47	35	0,28	13,8	3,64	865	72	63
<b>10-20</b>	4,95	0,26	0,60	0,22	2,59	27	0,37	8,5	2,71	859	74	67

Os valores representam os teores médios obtidos de quatro amostras compostas, em cada profundidade, representativas da área ocupada pelas parcelas do experimento. Fonte: Santos, 2016.

\* P disponível

Tabela 2. Caracterização da fertilidade e textura do solo nas profundidades 0-20, 20-40, 40-60 cm da área experimental de Sinop –MT, realizada previamente ao início do experimento (2014).

Profundidade	pH	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Al <sup>+3</sup>	H+Al	K <sup>+</sup>	P*	C.O	Areia	Silte	Argila	
Cm	H <sub>2</sub> O	-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup> -----				-----mg dm <sup>-3</sup> -----		-----g kg <sup>-1</sup> -----				
<b>0-20</b>	5,9	2,6	0,8	0	3,3	42	5,8	26,8	570	83	346	
<b>20-40</b>	5,6	1,2	0,4	0,1	2,5	30,5	1,9	13,5	554	83	362	
<b>40-60</b>	5,6	1,1	0,4	0,1	2,3	18,5	1,2	10,2	495	83	421	

Os valores representam os teores médios obtidos de quatro amostras compostas, em cada profundidade, representativas da área ocupada pelas parcelas do experimento. Fonte: Silveira, 2018.

\*P disponível

## 5.2 Delineamento experimental e histórico da área

### 5.2.1 Campo experimental de Seropédica

Foi utilizado o delineamento em blocos ao acaso, com três blocos de 18 m x 105 m, cada um contendo cinco parcelas de 18 m x 21 m para alocar cinco tratamentos (Tabela 3 e Figura 3) de plantios eucaliptos e acácia.

Tabela 3. Composição, densidade e arranjo utilizados nos tratamentos alocados na unidade experimental de Seropédica.

Tratamento	Composição	Densidade (%)	Arranjo (m)
0A:100E	Eucalipto em monocultivo	100 E <sup>a</sup>	3 x 3
0A:100E+N	Eucalipto com fertilização nitrogenada	100 E	3 x 3
100A:0E	Acácia em monocultivo	100 A	3 x 3
100A:100E	Eucalipto x Acácia	100 E + 100 A <sup>b</sup>	3 x 1,5
50A:50E	Eucalipto x Acácia	50 E + 50 A	3 x 3

<sup>a</sup> Parcelas com 100% de densidade têm 42 árvores no total (densidade de 1111 árvores ha<sup>-1</sup>).

<sup>b</sup> Parcelas 100A:100E têm 84 árvores, com 42 árvores de cada espécie (densidade de 2222 árvore ha<sup>-1</sup>).

Para evitar o efeito de borda (Figura 2) e a possível influência das parcelas vizinhas, estipulou-se como parcela útil a área equivalente às 16 plantas centrais, excluindo-se duas linhas de plantas ao longo do perímetro de cada parcela. Todas as coletas de solo foram realizadas no interior de cada parcela útil.

O histórico da área encontra-se em Santos et al. (2016), sendo que na fase de pré-plantio, toda a vegetação espontânea foi cortada e depois dessecada com glifosato. O plantio das mudas de ambas as espécies foi realizado em 2009 na unidade experimental de

Seropédica. As mudas de eucalipto clonais foram fornecidas pela Suzano Papel e Celulose S.A. As mudas de acácia foram produzidas a partir de sementes coletadas em árvores-matrizes localizadas no Campo Experimental da Embrapa Agrobiologia, as quais foram inoculadas com estirpes de *Rhizobium* spp. (BR3609 e BR6009), recomendadas por Faria et al. (2010). As sementes inoculadas foram levadas à incubadora BOD por 7 dias a  $25 \pm 2$  °C para que fossem pré-germinadas antes da semeadura nos recipientes (sacos plásticos). As mudas foram manejadas neste tipo de recipiente durante a fase de crescimento no viveiro, e assim mantidas até o momento do plantio.

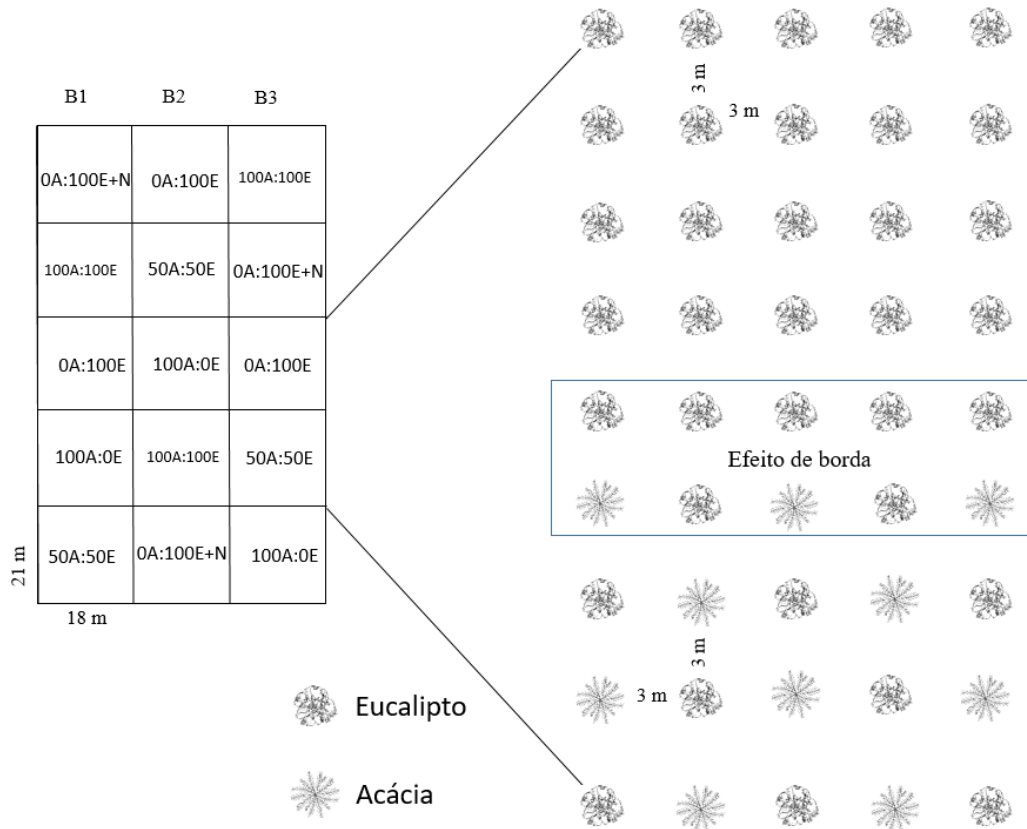


Figura 2. Croqui do delineamento em blocos e da distribuição espacial das árvores de eucalipto e acácia dentro dos tratamentos na unidade experimental de Seropédica-RJ. Fonte: Autor.

A fertilização de base foi realizada em conjunto com o plantio de todas as plântulas em todas as parcelas, adicionando uma mistura contendo 100 g de  $P_2O_5$  (como superfosfato triplo), 40 g de  $K_2O$  (como cloreto de potássio) e 25 g de um coquetel de micronutrientes (FTE BR12), com aplicações localizadas em duas covas laterais. Nas parcelas contendo o tratamento 0A:100E+N, aplicaram-se 20 g de N (na forma de sulfato de amônio) na copa das plântulas. Uma adubação suplementar composta por quatro aplicações de 20 g de  $K_2O$  por planta (como cloreto de potássio) e 20 g de N por planta (na forma de uréia) foi aplicada aos 3, 6, 9 e 12 meses após o plantio. A adubação nitrogenada suplementar foi adicionada apenas às plantas nas parcelas 0A:100E+N. Além disso, aplicaram-se  $2,0 \text{ Mg ha}^{-1}$  de calcário

dolomítico em toda a área 12 meses após o plantio para aumentar os níveis de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) no solo.

### 5.2.2 Campo experimental de Sinop

Foi utilizado no experimento o delineamento em blocos completos casualizados, em três repetições, com cinco parcelas de 1.296 m<sup>2</sup>, onde foram alocadas cinco combinações (Tabela 4 e Figura 3) de plantio eucalipto e acácia.

Para evitar o efeito de borda e a possível influência das parcelas vizinhas, estipulou-se como parcela útil 576 m<sup>2</sup> da área central (8 x 8 árvores) e, excluindo-se duas linhas de plantas ao longo do perímetro de cada parcela.

O histórico da área é apresentado por Silveira (2018), onde a área experimental passou por desmatamento em 2003, cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.), soja (*Glycine max* L.), milho safrinha (*Zea mays* L.) e algodão (*Gossypium hirsutum* L.) até o ano de 2009. E no período de 2010 até 2014, a área permaneceu em pousio. Posteriormente, em momento de preparo da área para realização do experimento, foi-se realizado subsolagem e gradagem. Em seguida, em janeiro de 2015, aplicou-se herbicida e inseticida pré-plantio, com glifosato (4 L ha<sup>-1</sup>), boral 500 SC (0,7 kg i.a ha<sup>-1</sup>) e regent 800 WG (200 g i.a ha<sup>-1</sup>).

O plantio das mudas ocorreu em janeiro de 2015. Todos os tratamentos receberam 125 kg ha<sup>-1</sup> superfosfato triplo 45% P (50 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 100 kg ha<sup>-1</sup> oligo-elementos FTE BR08 e 25 kg ha<sup>-1</sup> KCl com 60% de K<sub>2</sub>O (15 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O). No tratamento 0A:100E+N foi realizado ainda a aplicação de 34 kg ha<sup>-1</sup> de uréia (15 kg ha<sup>-1</sup> de N). Aos 45 dias após o plantio ocorreu a adubação de cobertura, onde foram aplicados 125 kg ha<sup>-1</sup> superfosfato triplo 45% P (50 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 25 kg ha<sup>-1</sup> KCl com 60% de K<sub>2</sub>O (15 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O), 54 kg ha<sup>-1</sup> de FTE BR08.

Tabela 4. Composição, densidade e arranjo das árvores de eucalipto e acácia alocados na unidade experimental de Sinop.

Tratamento	Composição	Densidade (%)	Arranjo (m)
0A:100E	Eucalipto em monocultivo	100 E	3x3
0A:100E+N	Eucalipto com fertilização nitrogenada	100 E	3x3
100A:0E	Acacia em monocultivo	100 A	3x3
33A:67E	Eucalipto x Acácia	33 A + 67 E	3x3
50A:50E	Eucalipto x Acácia	50 A + 50 E	3x3

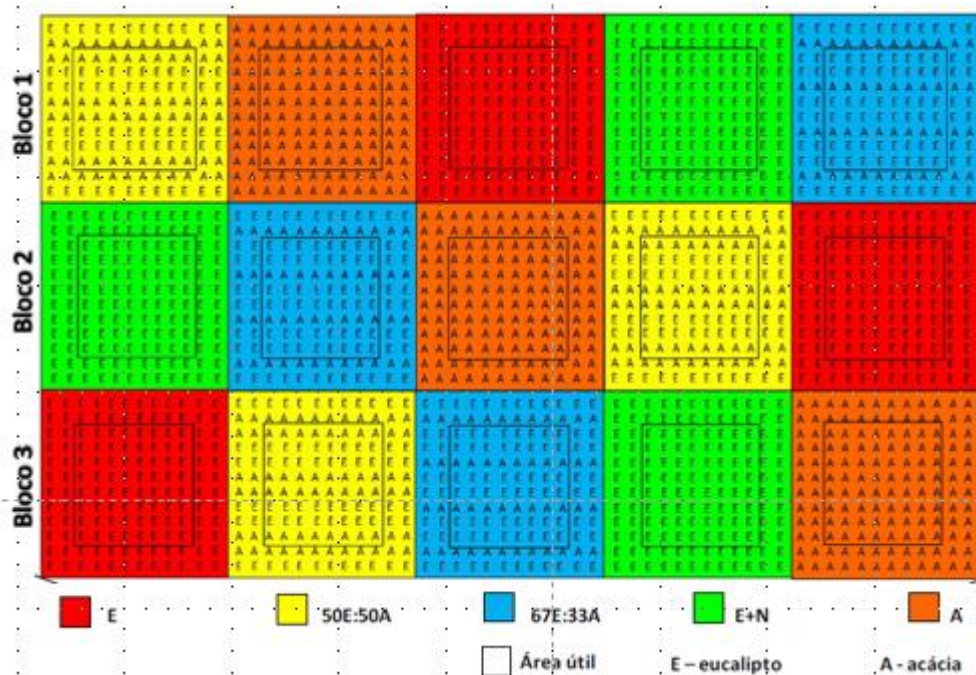


Figura 3. Croqui do delineamento em blocos e da distribuição espacial das árvores de eucalipto e acácia dentro dos tratamentos na unidade experimental de Sinop. Fonte: Silveira, 2018.

### 5.3 Amostragem de solo

Todas as coletas das amostras de terra foram realizadas no interior de cada parcela útil nas profundidades 0-5 e 5-10 cm nas entrelinhas de plantio. As coletas de solo na unidade experimental de Sinop (Latossolo) ocorreram 29 meses após o plantio (junho de 2017), com auxílio de um amostrador automático com broca adaptada em quadriciclo, sendo coletadas 20 amostras simples por parcela, que se constituíram em uma amostra composta. Já as coletas de solo realizadas na unidade experimental de Seropédica (Planossolo) ocorreram 69 meses após o plantio (setembro de 2014), com auxílio de um trado holandês, sendo coletadas seis amostras simples por parcela, que se constituíram em uma amostra composta.

Após serem destorroadas e homogeneizadas, as amostras foram secas ao ar e peneiradas na malha de 2,0 mm, obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA).

### 5.4 Fracionamento granulométrico da matéria orgânica

O carbono orgânico total (COT) da TFSA foi determinado por oxidação com dicromato de potássio em meio ácido, sem aquecimento externo, conforme descrito em Embrapa (1997).

Para o fracionamento granulométrico da MOS foi realizado segundo, dez gramas de TFSA foram submetidos à agitação horizontal por 15 horas na presença de 30 mL de solução de hidróxido de sódio na concentração de 0,1 mol L<sup>-1</sup>. Em seguida, a suspensão foi passada em peneira de 53 µm com o auxílio de jato de água. O material retido na peneira, que consiste na fração particulada, foi seco em estufa a 50°C, quantificado em relação a sua massa, moído



em gral de porcelana e analisado em relação ao teor de carbono orgânico, conforme descrito para o COT, obtendo assim o carbono orgânico particulado (COp).

Pela diferença entre o COT e COp foi obtido o carbono orgânico associado aos minerais (COam).

### 5.5 Carbono lábil (CL)

Para quantificação do carbono lábil, foi utilizado o método descrito por Weil et al. (2003), no qual o mesmo foi determinado via oxidação com permanganato de potássio ( $\text{KMnO}_4$ )  $0,02 \text{ mol L}^{-1}$ . Para isso, 2,5 g de TFSA foram inseridos em tubo fálcon de 50 mL e adicionados no mesmo 18 mL de água destilada e 2 mL da solução  $\text{KMnO}_4$   $0,02 \text{ mol L}^{-1}$  (pH 7,2). Posteriormente, os tubos foram agitados exatamente por dois minutos em aparelho agitador horizontal à 120 rpm. Em seguida, os tubos foram deixado inertes em posição vertical por 10 minutos para a sedimentação do material.

Após a sedimentação do material, foi retirado uma alíquota de 0,5 mL do sobremontante e transferido a outro tubo falcon contendo 49,5 mL de água destilada. A solução foi levemente homogeneizada até a apresentação de uma coloração púrpura. A leitura foi obtida com auxílio do espectrofotômetro de absorvância a 550 nm e a quantificação do teor de carbono lábil (mg.kg) foi obtida por meio da Equação 1 e com auxílio da confecção da curva padrão com quatro diferentes concentrações de  $\text{KMnO}_4$  previamente conhecidas (0,005; 0,01; 0,015 e  $0,2 \text{ mol L}^{-1}$ ).

$$\text{CL} = ((0,02 \times (a + bx)) \times 9000 \times (0,02 / P))$$

Equação 1

Em que CL = Carbono lábil do solo em mg.kg; a = ordenada na origem da curva padrão; b = declive da curva padrão; x = leitura realizada pelo espectrofotômetro de absorvância a 550 nm; P = peso da TFSA da amostra em Kg.

### 5.5 Fracionamento do fósforo (P)

Para o fracionamento do fósforo (P), utilizou-se 1,0 g da TFSA, as quais foram submetidas a diferentes extratores num esquema sequencial. A extração e quantificação do P nas frações orgânicas (Po) e inorgânicas (Pi) foi proposto por Bowman (1989), e a separação das frações lábeis conforme Bowman e Cole (1978), com modificações realizadas por Duda (2000). Esse esquema sequencial, baseia-se na extração das formas lábeis (Pibic e Pobic), moderadamente lábeis (PiH e PoH) e moderadamente resistentes (PiOH e PoOH), no qual as formas orgânicas (Po) e inorgânicas (Pi) são separadas de acordo com a disponibilidade às plantas.

O primeiro passo foi à extração do P com bicarbonato de sódio  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  (pH 8,5) para extração da fração lábil (Figura 4). Para isso, uma amostra de 1g de TSFA junto com 40 mL da solução extratora de bicarbonato de sódio em tubo falcon, foi submetida a agitação em agitador horizontal por um período de 16h a 150 rpm. Em seguida a amostra foi centrifugada a 5000 rpm por um período de 5 minutos e recolhido o sobrenadante. Dessa sobrenadante, 5 mL foi utilizado para quantificação do fósforo inorgânico lábil (Pibic) e 20 mL submetido a digestão com ácido perclórico ( $\text{HClO}_4$ ) para quantificação do fósforo total lábil (Ptbic).

Posteriormente, na amostra residual, com ácido sulfúrico concentrado ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )  $1,79 \text{ mol L}^{-1}$ , foi extraído o P moderadamente lábil, no qual está fortemente ligado a fosfatos de cálcio. Para isso,  $1,5 \text{ mL}$  de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  avolumado com água destilada para  $40 \text{ mL}$ , foi novamente submetido a centrifugação a  $5000 \text{ rpm}$  por  $5 \text{ minutos}$ ; recolhido o sobrenadante e utilizado  $5 \text{ mL}$  para quantificação da fração inorgânica moderadamente lábil (PiH) e  $20 \text{ mL}$  para quantificação da fração total moderadamente lábil (PtH).

Para quantificação do P moderadamente resistente, adicionou-se  $40 \text{ mL}$  de hidróxido de sódio ( $\text{NaOH}$ )  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  na amostra residual; submetido a banho-maria a  $80^\circ\text{C}$  por  $2 \text{ horas}$ ; centrifugado  $5000 \text{ rpm}$  por  $5 \text{ minutos}$ ; recolhido o sobrenadante e utilizado  $5 \text{ mL}$  para quantificação da fração inorgânica moderadamente resistente (PiOH) e  $20 \text{ mL}$  para quantificação da fração total moderadamente resistente (PtOH).

A obtenção das frações orgânicas (Pobic, PoH e PoOH) foi realizada pela diferença das frações totais e frações inorgânicas.

No resíduo desse processo, extraiu-se o P residual (Pres), em que  $0,3 \text{ g}$  do resíduo seco em estufa a  $50^\circ\text{C}$  foi digerido com ácido perclórico.

Para determinação do P de cada fração foi utilizado o espectrofotômetro de absorvência a  $660 \text{ nm}$  após a redução do complexo fosfomolibdico com ácido ascórbico, na presença de sal de bismuto (DONAGEMMA et al., 2011).

O teor de fósforo total (Pt) foi obtido pela soma das frações orgânica, inorgânicas de residual.

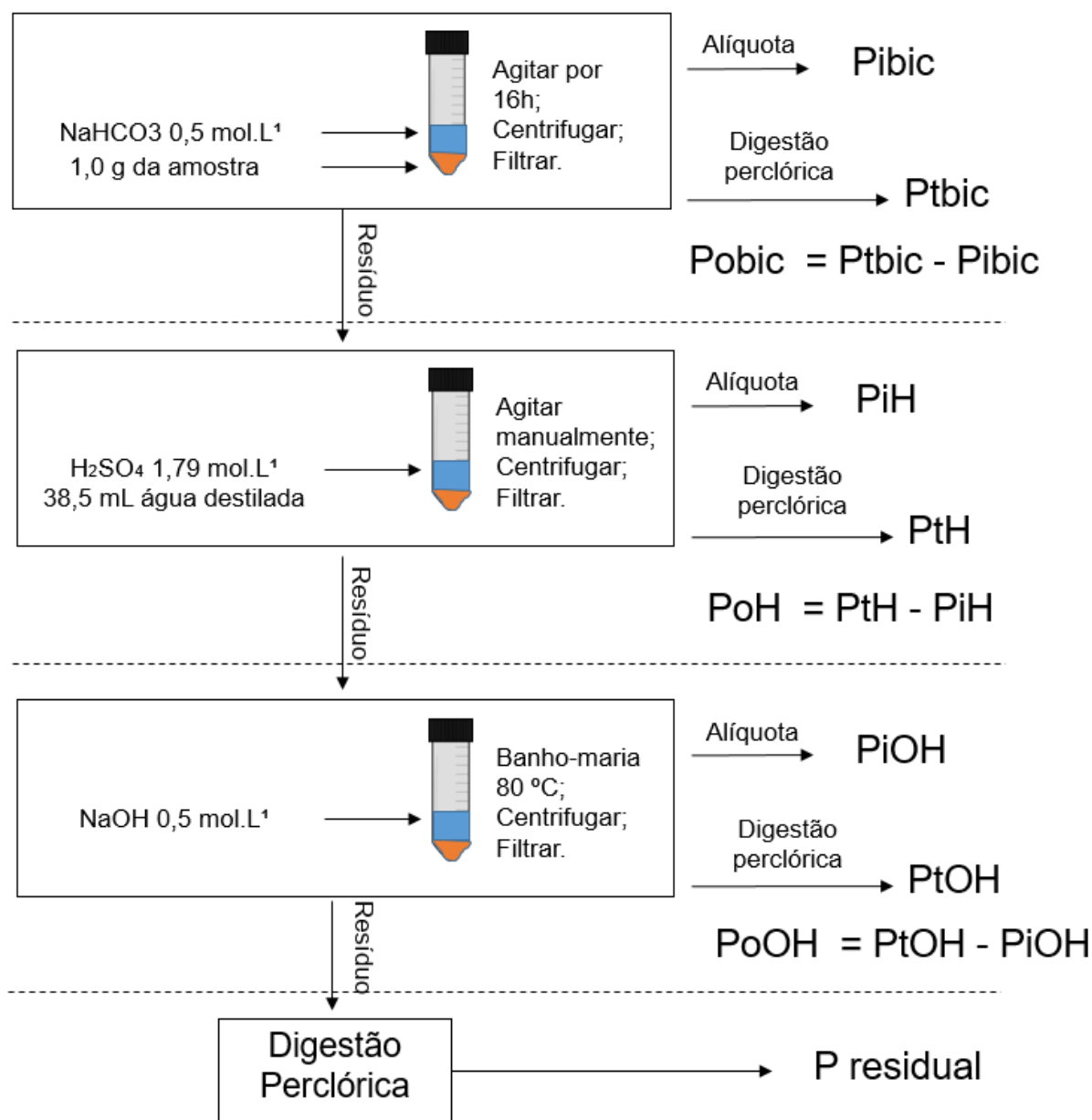


Figura 4. Esquema da técnica do fracionamento P orgânico proposto por Bowman, modificado por Duda.

## 5.6 Análises estatísticas

Após verificar a normalidade e homocedasticidade, as variáveis estudadas foram submetidos à análise de variância (ANOVA), considerando o delineamento experimental de blocos ao acaso ( $n=3$ ). As médias das variáveis foram avaliadas quanto ao teste F ( $p<005$ ) e comparadas pelo teste Tukey ( $p<0,05$ ) utilizando o software R (R Development Core Team, 2018).

Em sequência, os dados da profundidade em que foi verificada maior diferença significativa, foram submetidos à análise dos componentes principais (PCA) por meio do Software Minitab para avaliar a similaridade do conjunto de dados das variáveis ao longo dos

eixos de ordenação, buscando associações das frações de P bem como as frações de C. Em seguida, foi realizada análise de cluster entre todos os tratamentos de ambas as áreas.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Unidade experimental de Sinop

#### 6.1.1 Dinâmica do fósforo

Os maiores valores de fósforo total (Pt) na profundidade 0-5 cm foram encontrados no plantio misto de espaçamento de maior proporção de acácias (33A:67A). Contudo esses valores não diferiram dos demais tratamentos (Tabela 5).

Já na profundidade 5-10 cm, foi verificada diferença significativa, sendo que os tratamentos em que a acácia esteve presente apresentaram os maiores valores de Pt. Nota-se ainda que no tratamento 50A:50E, os valores de Pt na profundidade 5-10 cm foi relativamente superior ao encontrado na camada superficial.

O compartilhamento de comunidades microbianas do solo entre as espécies pode melhorar a eficiência na aquisição e reciclagem de P nesses plantios (RACHID et al., 2013). Já as variações nos teores de Pt nas duas camadas podem estar relacionadas com a variabilidade espacial do P no solo, que tende a ser elevada (BOTTEGA et al., 2013; SILVA e CHAVES, 2001).

Tabela 5. Fósforo total (Pt) do solo nas profundidades 0-5 e 5-10 cm em áreas de plantio mono específico e misto de eucalipto e acácia na unidade experimental de Sinop.

Manejo	Profundidade (cm)	
	0-5	5-10
	P total (mg kg <sup>-1</sup> )	
0A:100E	327,51 a	264,11 c
0A:100E +N	308,31 a	260,34 c
33A:67E	344,26 a	299,54 b
50A:50E	320,17 a	323,67 a
100A:0E	323,22 a	301,27 b
CV %	5,03	3,25

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre os tratamentos avaliados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em relação ao teor total de fósforo (Pt) quanto ao tipo de solo, nota-se que em Latossolo foram registrados teores de P cerca de 4 à 6 vezes a mais do que no Planossolo (Tabela 5 e 6). A baixa adsorção do fósforo às partículas de areia do solo, e principalmente pela baixa proporção de argila e silte nestes solos, diminui a capacidade de adsorção bem como a pequena superfície específica deste solo (KLEIN, 2014). Novais e Smyth (1999) afirmam ainda que o fator capacidade dos Latossolos são reconhecidamente elevados, evidenciados pela alta capacidade de adsorção de fosfatos que possuem. Deng et al. (2017), realizando uma meta análise global na dinâmica do fósforo, afirmam que em coberturas florestais o P total apresenta maiores alterações em textura mais grossa apresentando também

uma maior variação quando comparado a outros tipos de solos. Essas informações corroboram com este estudo, no qual em Latossolo o coeficiente de variação (CV%) foi menor ao solo arenoso (Tabela 5 e 6).

Em estudos realizados em Latossolo Vermelho-Amarelo, Zaia et al. (2008), encontraram valores variando de 292 a 354 mg kg<sup>-1</sup> na camada de 0-5 cm, enquanto que Godinho (2015) registrou uma média de 309 e 327 mg kg<sup>-1</sup> para profundidade 0-5 e 5-10 cm respectivamente.

Os Latossolos são solos constituídos por material mineral, em avançado estágio de intemperismo, como resultado de enérgicas transformações no material constitutivo (Santos et al., 2018). Em condições tropicais, esses solos podem mudar de fonte para dreno, tornando-se mais eletropositivos e com grande capacidade de adsorver ânions, tais como os fosfatos (ROLIN-NETO et al., 2004).

A distribuição relativa do fósforo orgânico (Figura 5) (P<sub>obic</sub> + P<sub>oH</sub> + P<sub>oOH</sub>) variam de 34,62 a 38,07% em relação ao fósforo total na camada superficial e 29,77% a 36,11% na camada subsuperficial. Já o fósforo geoquímico (P<sub>bic</sub> + P<sub>iH</sub> + P<sub>iOH</sub> + P<sub>res</sub>), que foi o maior constituinte no solo, apresentou percentuais que variaram de 61,93 a 65,38% na camada superficial e 63,89% a 70,23% na camada subsuperficial. Em ambas as frações, não houve diferença significativa entre os tratamentos. Esses percentuais foram similares aos encontrados na literatura. Costa et al. (2016) verificaram uma média de 70% de P geoquímico em plantios de eucalipto para diferentes tipos de solos na profundidade 0-20 cm em diversas regiões do Brasil. Já Oliveira et al. (2014) identificaram proporções de P orgânico variando entre 36% e 46% em horizontes superficiais de diferentes tipos de solos, enquanto Zaia et al. (2008), registraram valores variando de 22,6 a 39,9 % em Latossolos sob cobertura de *Acacia auriculiformis* e *Mimosa caesalpinifolia*.

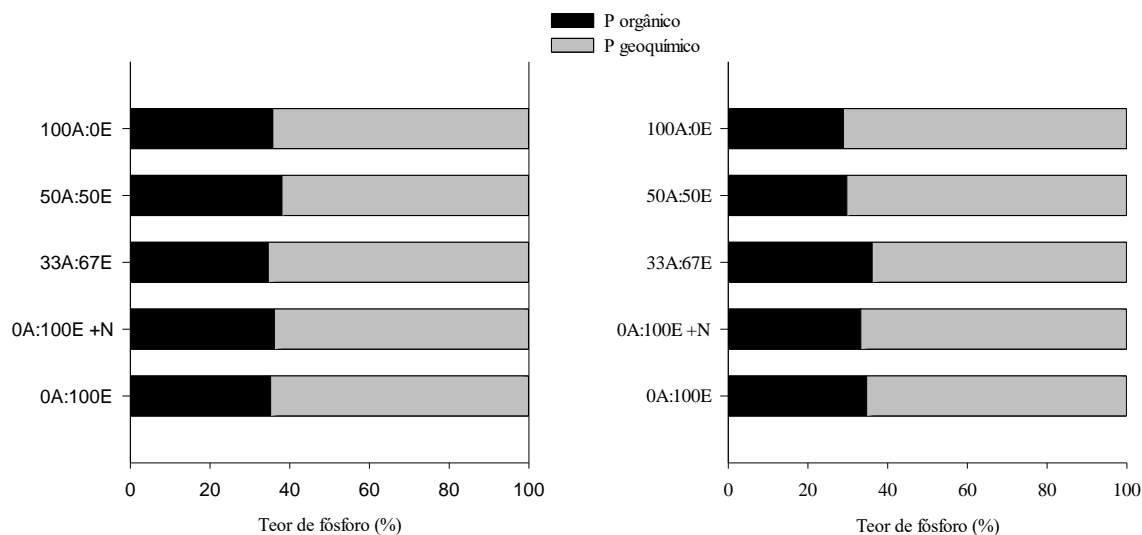


Figura 5. Distribuição relativa de fósforo orgânico (P orgânico) e geoquímico (P geoquímico) nas profundidades 0-5 (A) e 5-10 (B) cm em áreas de plantio mono específico e misto de eucalipto e acácia na unidade experimental de Sinop.

Na unidade experimental de Sinop, os tratamentos apresentaram valores semelhantes quanto ao fósforo inorgânico lábil (P<sub>bic</sub>) em ambas as profundidades (Tabela 7). Contudo,

quando observados os valores dessa mesma fração na forma orgânica (Pobic), os tratamentos com o consórcio da acácia e eucalipto foram aqueles no qual apresentaram os melhores resultados. Cunha et al. (2007) registraram em uma mata nativa sob solo Latossolo que, em média, o P lábil se apresentou em termos percentuais de 70 a 83% na forma orgânica. Já nesse estudo, esses valores entre os tratamentos variaram de 61 a 68%. Devido a maior capacidade de fixação de P, o solo compete com as plantas pelo elemento, deixando de ser fonte para se tornar dreno (ZAIA, 2009). Assim, as plantas absorveriam o P diretamente do que mineralizasse da fase orgânica, reduzindo o substrato mineral (P inorgânico) (NOVAIS e SMYTH, 1999). Nesse sentido, o Po lábil, tem sua participação aumentada conforme o grau de intemperismo do solo (GUO et al., 2000).

Em relação aos valores da fração moderadamente lábil (PiH e PoH), observa-se que essa fração foi a que apresentou os maiores teores de fósforo (Tabela 7) em ambas as profundidades. Esse resultado pode estar relacionado por ser a forma de P ligados a solos de alta energia como solos intemperizados (RHEINHEIMER et al., 2008). Novais e Smith (1999) afirmam ainda que P moderadamente lábil solubiliza formas de P ligadas ao cálcio.

Já em relação aos valores da fração mais recalcitrante de fósforo orgânico no solo (PoOH), o mesmo foi encontrado em maior quantidade nos tratamentos de plantio monoespecífico, apesar desses valores terem sido estatisticamente distintos somente na camada superficial. Quanto ao P residual (Pres), nota-se que houve diferença significativa entre os tratamentos, onde o plantio monoespecífico de eucalipto (0A:100E) foi o qual apresentou os maiores valores. Segundo Godinho (2015), os plantios de eucalipto geram uma serapilheira mais recalcitrante, que por consequência pode propiciar maiores teores de P não lábil. Yang et al. (2015), afirmam ainda que maior quantidade de N no sistema pode provocar transformações de formas de Po mais estáveis em formas orgânicas mais lábeis.

Percebe-se nesse estudo que as frações orgânicas foram as mais afetadas para os diferentes tipos de manejo. Evidenciando-se assim, a importância da entrada da matéria orgânica no sistema.

Tabela 6. Níveis de fósforo orgânico e inorgânico das frações lábeis, moderadamente lábeis e resistentemente lábeis além do fósforo residual nas profundidades 0-5 e 5-10 cm em áreas de plantio monoespecífico e misto de eucalipto e acácia na unidade experimental de Sinop.

Manejo	Pibic	Pobic	PiH	PoH	PiOH	PoOH	Pres
	mg kg <sup>-1</sup>						
0-5 cm							
0A:100E	25,88 a	45,26 b	112,83 a	45,50 a	37,66 a	24,54 a	35,83 a
0A:100E +N	26,18 a	42,75 b	109,30 a	46,35 a	40,93 a	22,41 a	20,39 c
33A:67E	25,97 a	53,48 a	125,97 a	48,14 a	44,86 a	17,58 b	28,26 b
50A:50E	22,89 a	50,20 a	115,87 a	55,74 a	38,32 a	15,96 b	21,20 c
100A:0E	27,52 a	44,04 b	113,47 a	44,58 a	35,69 a	26,83 a	31,09 b
CV (%)	10,75	6,54	13,38	13,70	10,09	9,51	7,75
5-10 cm							
0A:100E	23,31 a	29,52 c	83,82 d	45,72 a	38,23 a	16,45 a	27,05 b
0A:100E +N	21,65 a	36,81 b	92,79 c	35,27 c	37,33 a	14,49 a	22,00 b
33A:67E	22,67 a	44,75 a	106,90 b	46,48 a	36,27 a	16,94 a	25,53 b
50A:50E	23,49 a	43,27 a	105,85 b	39,93 b	42,24 a	13,17 a	55,71 a
100A:0E	22,37 a	36,92 b	127,65 a	28,10 d	30,70 a	22,02 a	33,51 b
CV (%)	8,94	5,99	4,28	6,86	21,50	22,29	13,22

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre os sistemas avaliados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

### 6.1.2 Carbono no solo

Quando observado os valores de carbono orgânico total no solo (Tabela 9 e 10), percebe-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos em ambas as profundidades. Contudo, quando analisada as frações granulométricas, verifica-se que na camada superficial, os tratamentos no qual a acácia esteve presente apresentaram os maiores teores de carbono da fração particulada (COp). Avaliando os valores da fração associada aos minerais (COam) nota-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos em nenhuma profundidade. Já o carbono lábil (CL), foi à única variável a qual apresentou diferença em ambas as camadas e para os solos estudados.

Quando analisados esses valores em termos percentuais, os tratamentos de plantios mistos apresentaram uma média de aproximadamente 51,97% de carbono orgânico particulado em relação ao carbono orgânico total, enquanto para os plantios monoespecíficos foi observada uma média aproximada de 37,70%.

Tabela 7. Teores de carbono orgânico total, particulado, associado aos minerais e carbono lábil do solo nas profundidades 0-5 e 5-10 cm em áreas de plantio monoespecífico de eucalipto e acácia e o misto das espécies na unidade experimental de Sinop.

Tratamento	COT	COp	COam	CL
	$\text{g.kg}^{-1}$			
0-5 cm				
0A:100E	18,60 a	6,38 b	12,22 a	60,59 b
0A:100E +N	15,67 a	5,71 b	9,96 a	65,17 b
33A:67E	16,65 a	8,45 a	8,20 a	75,12 a
50A:50E	20,58 a	11,07 a	9,51 a	86,59 a
100A:0E	18,53 a	7,85 a	10,68 a	77,88 a
CV (%)	9,57	23,04	13,02	8,54
5-10 cm				
0A:100E	13,17 a	5,04 a	8,13 a	36,87 b
0A:100E +N	14,11 a	6,09 a	8,02 a	39,36 b
33A:67E	15,58 a	5,91 a	9,67 a	42,23 a
50A:50E	17,61 a	8,07 a	9,54 a	50,83 a
100A:0E	17,47 a	5,42 a	12,05 a	42,80 a
CV (%)	8,72	12,45	10,56	6,78

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre os sistemas avaliados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Maiores variações dos compartimentos lábeis da matéria orgânica solo são observadas, comparativamente ao teor total de C de agroecossistemas (HAYNES, 2000; SOUZA et al., 2013). Por isso, os compartimentos lábeis da matéria orgânica se tornaram indicadores de qualidade do solo, pois são capazes de captar previamente sentido do manejo adotado ao solo, se é benéfico ou deletério, mesmo que mudanças significativas ainda não sejam observadas nos teores totais de MOS.

Resultados similares foram encontrados nesse trabalho, no qual os tratamentos apresentaram teores de COT similares em ambas as profundidades, mas diferiram quanto a suas frações granulométricas (Tabela 9 e 10).

A ocorrência dos maiores teores de carbono da fração particulada dos tratamentos que apresentaram a acácia em sua composição, se relacionam com a própria natureza do material (resíduos recém depositados sobre o solo), mas indicam também a capacidade da espécie em produzir grande quantidade de serapilheira e de baixo *turnover* (SANTOS et al., 2017b). Esses padrões corroboram com vários outros autores (BACHEGA et al. 2016; SANTOS et al., 2017a; PEREIRA et al., 2018). Em plantios puros de acácia e mistos de acácia e *Eucalyptus grandis* (50A:50E), Pereira et al. (2018) encontraram maior massa da fração particulada da MOS (2,000-75  $\mu\text{m}$ ) e teores de C e N associados do que em plantios puros de eucalipto. Esses resultados coadunam com o que Bachega et al. (2016) e Santos et al. (2017a) que verificaram que a taxa de decomposição de folhas da serapilheira foi menor para a acácia em comparação o eucalipto, sendo esse processo estimulado pelo compartilhamento de resíduos com composição complementares (acácia, com mais N e eucalipto, com mais P) no plantio misto.

Os diferentes plantios (monoespecíficos e mistos) por sua vez não influenciaram no teor de carbono associado aos minerais. O curto tempo do experimento e o baixo revolvimento do solo preservam a estrutura do solo (baixo *turnover* de macroagregados), mitigando perdas de C dessa fração (BAYER et al., 2004; DENEFF et al., 2007). Ademais, o C associado aos complexos organominerais primários de tamanho menores são menos lábeis (CHRISTENSEN et al. 1992; BARRETO et al., 2009).

O carbono lábil (CL) foi o único atributo lábil da MOS responsável por segregar plantios monoespecíficos e mistos com acácia daqueles puros de eucalipto, apresentando potencial como indicador da presença e papel da leguminosa na ciclagem rápida de C em solos florestais. Vários outros autores já associaram esse *pool* à qualidade do solo, na medida em que este atributo se encontra muito associado a outros atributos chaves do solo, como a biomassa microbiana e a atividade enzimática, que por consequência estimula processos de ciclagem de nutrientes (HAYNES, 2000; ROCHA JÚNIOR et al., 2014). Pegoraro et al. (2014) afirmam ainda que o cultivo da acácia incrementa os estoques de carbono das frações mais lábeis. Estes padrões conflitam com os observados por Bachega et al. (2016) e Santos et al. (2017a) que encontraram maiores concentrações de compostos de C solúveis em água, taninos, fenóis totais e polifenóis em serapilheira de eucalipto em comparação ao de acácia. Por outro lado, folhas da serapilheira da leguminosa apresentaram maiores teores de lignina e taninos condensáveis que as folhas de eucalipto.

Em relação aos percentuais das frações do carbono orgânico, os resultados corroboram com a natureza do solo, os Latossolo por exemplo, apresentam maior poder de conservação e estabilização da MOS por meio de mecanismos de proteção física (CHRISTENSEN et al., 1992; FELLER e BEARE, 1997). Com isso, maiores percentuais de CO<sub>am</sub> foram encontrados no solo do município de Sinop. Os plantios mistos beneficiaram o equilíbrio das frações. Esse equilíbrio pode ser positivo em médio e longo prazos em termos de sequestro de C, já que alguns autores observaram em áreas de plantios mistos que os estoques de C tendem a ser superior nesse tipo de plantio em plantios puros de espécies fixadora e não fixadoras de N<sub>2</sub> (KAYE et al., 2000; BALIEIRO et al., 2008; FORRESTER et al., 2013).



## 6.2 Unidade experimental de Seropédica

### 6.2.1 Dinâmica do fósforo

Na unidade experimental de Seropédica, o plantio misto 50A:50E foi o aquele no qual foram observados os maiores valores, diferindo significativamente dos demais (Tabela 6).

Já na profundidade 5-10 cm, foi verificada diferença significativa. Os tratamentos em que a acácia esteve presente apresentaram os maiores valores de Pt. Nota-se ainda que no tratamento 100A:0E os valores de fósforo total na profundidade 5-10 foram relativamente superiores aos encontrados na camada superficial.

As pequenas variações no teor de Pt do solo corroboram com outros autores que trabalharam com solos similares (ZAIA et al., 2008; GODINHO, 2015). Contudo, nessa condição (solo de textura mais arenosa em superfície) pode ter propiciado uma melhor sinergia das espécies no plantio misto 50A:50E, como observado por Santos et al. (2016). Sinergias estas relacionadas aos processos de decomposição da serapilheira, aumento da biomassa microbiana e sua atividade no solo.

Tabela 8. Fósforo total (Pt) do solo nas profundidades 0-5 e 5-10 cm em áreas de plantio mono específico e misto de eucalipto e acácia na unidade experimental de Seropédica.

Manejo	Profundidade (cm)	
	0-5	5-10
	P total (mg kg <sup>-1</sup> )	
0A:100E	58,14 b	52,51 b
0A:100E +N	64,96 b	46,92 b
50A:50E	81,64 a	56,16 b
100A:100E	65,31 b	53,35 b
100A:0E	53,33 b	61,91 a
CV %	17,17	11,75

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre os tratamentos avaliados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em estudos realizados em solos arenosos, Zhao et al. (2008) registraram em plantios mistos valores de 76,6 mg kg<sup>-1</sup>.

A distribuição relativa do fósforo orgânico (Figura 6) nos tratamentos variou de 36,65 a 58,56% em relação ao fósforo total na camada superficial e 30,82% a 43,15% na camada subsuperficial. Já o fósforo geoquímico, apresentou percentuais que oscilaram de 41,43 a 63,34% na camada superficial e 56,84% a 69,17% na camada subsuperficial. Vale ressaltar que diferente da unidade experimental de Sinop (Latosolo), no consórcio 50A:50E, o percentual de P orgânico foi superior ao P geoquímico, apresentando valor significativamente superior aos demais tratamentos. Godinho (2015), avaliando plantios misto e homogêneos de acácia e eucalipto em diferentes regiões do Brasil, também registrou maior teor de P orgânico em solo arenoso.

O fato do P orgânico no plantio misto 50A:50E na camada 0-5 cm ter sido a única variável que apresenta diferença significativa em comparação aos demais tratamentos pode estar relacionado ao maior teor de carbono orgânico (Tabela 10) e maior atividade microbiana (RACHID et al., 2013) na camada superficial o que pode favorecer a transformação do P inorgânico em P orgânico (TIECHER et al., 2012).

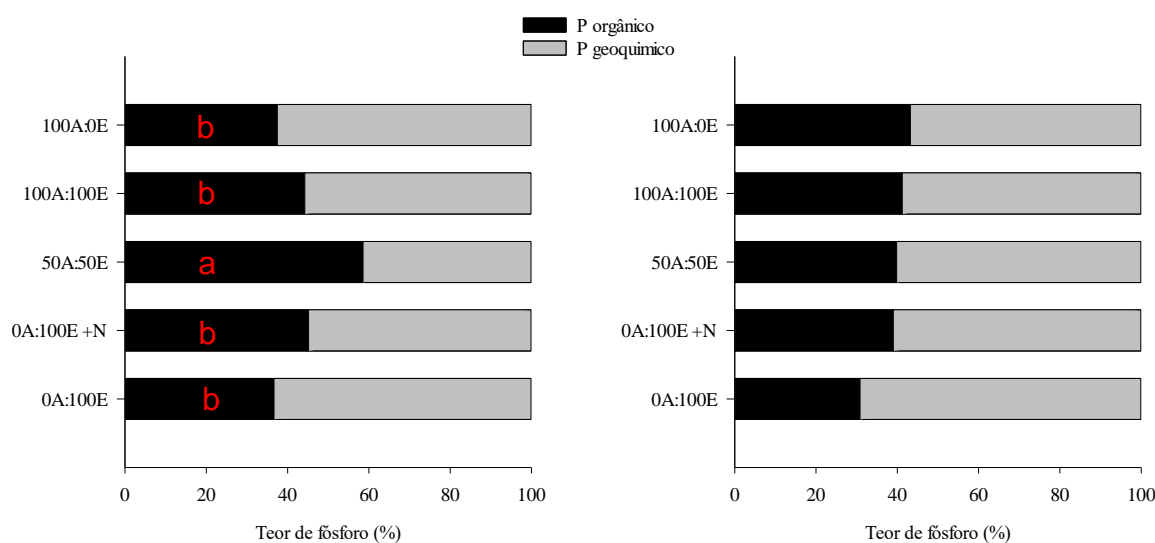


Figura 6. Distribuição relativa de fósforo orgânico (P orgânico) e geoquímico (P geoquímico) nas profundidades 0-5 (A) e 5-10 (B) cm em áreas de plantio mono específico e misto de eucalipto e acácia na unidade experimental de Seropédica.

Assim como na unidade experimental de Sinop, em Seropédica os tratamentos apresentaram valores semelhantes quanto ao fósforo inorgânico lábil (Pibic) em ambas as profundidades e somente na fração orgânica pode-se notar diferença estatística (Tabela 8). Porém, na camada 5-10 cm os teores de Pobic do plantio misto 50A:50E foram similares aos monocultivos de eucalipto. Vale ressaltar que no compartimento lábil, a fração orgânica variou entre os tratamentos de 13 a 32%.

O baixo percentual de P orgânico em função da fração lábil pode ser explicado pela idade de plantio, no qual a produção de biomassa pode ter se reduzido ao longo do tempo associado ao tipo de solo que pode ter propiciado uma mineralização da matéria orgânica de forma mais acelerada, propiciando a transformação de P orgânico lábil para P inorgânico lábil.

Em relação aos valores da fração moderadamente lábil (PiH e PoH), observa-se que assim como no Latossolo, essa fração foi a que apresentou os maiores teores de fósforo (Tabela 8) em ambas as profundidades. Porém, vale ressaltar que no Planossolo, essa foi a única fração na qual o compartimento orgânico foi superior ao compartimento inorgânico.

Já em relação aos valores da fração mais recalcitrante de fósforo orgânico bem como o fósforo residual (Pres), em ambas as profundidades não foram verificadas diferença significativa entre os tratamentos.

Tabela 9. Níveis de fósforo orgânico e inorgânico das frações lábeis, moderadamente lábeis e resistentemente lábeis além do fósforo residual nas profundidades 0-5 e 5-10 cm em áreas de plantio mono específico e misto de eucalipto e acácia na unidade experimental de Seropédica.

Manejo	Pibic	Pobic	PiH	PoH	PiOH	PoOH	Pres
	mg kg <sup>-1</sup>						
0-5 cm							
0A:100E	10,92 a	3,05 b	15,71 a	16,44 b	5,61 a	1,83 a	4,60 a
0A:100E +N	9,85 a	3,22 b	11,26 a	18,59 b	3,81 a	1,26 a	3,13 a
100:100E	12,16 a	2,06 b	13,98 a	21,00 b	5,03 a	2,69 a	4,07 a

50A:50E	12,16 a	5,76 a	14,82 a	43,06 a	3,72 a	2,12 a	3,97 a
100A:0E	10,28 a	1,56 b	13,02 a	17,83 b	6,02 a	0,56 a	4,07 a
CV (%)	17,51	16,35	20,32	18,06	21,10	20,38	17,52
5-10 cm							
0A:100E	10,71 a	3,35 a	16,69 a	10,99 b	4,91 a	1,75 a	4,12 a
0A:100E +N	8,77 a	4,64 a	11,42 a	13,23 b	5,03 a	0,44 a	3,38 a
100:100E	10,33 a	1,56 b	9,90 b	15,83 b	5,12 a	4,61 a	6,01 a
50A:50E	13,07 a	3,14 a	13,10 a	17,19 a	3,93 a	2,04 a	3,69 a
100A:0E	9,90 a	1,62 b	16,47 a	23,62 a	5,08 a	1,91 a	4,42 a
CV (%)	16,94	14,94	15,87	17,35	21,50	20,93	19,45

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre os sistemas avaliados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

## 6.2.2 Carbono no solo

Através da análise dos valores de carbono orgânico total no solo (COT) e suas frações granulométricas (COp e COam) (Tabela 10), percebe-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos em ambas as profundidades. Já para o carbono lábil (CL), foi observada diferença em ambas profundidades, em que o plantio misto 50A:50E apresentou valores mais elevados (Tabela 10).

Tabela 6. Teores de carbono orgânico total, particulado, associado aos minerais e carbono lábil do solo nas profundidades 0-5 e 5-10 cm em áreas de plantio monoespecífico de eucalipto e acácia e o consórcio das espécies na unidade experimental de Seropédica.

Tratamento	COT	COp	COam	CL
	g.kg <sup>-1</sup>			
0-5 cm				
0A:100E	9,81 a	1,88 a	7,93 a	46,24 b
0A:100E +N	8,92 a	1,19 a	7,73 a	40,51 b
100A:100E	7,31 a	1,39 a	5,92 a	41,08 b
50A:50E	9,54 a	1,59 a	7,95 a	51,41 a
100A:0E	9,10 a	1,90 a	7,20 a	42,23 b
CV (%)	15,89	24,46	22,32	13,68
5-10 cm				
0A:100E	9,21 a	2,08 a	7,12 a	36,86 b
0A:100E +N	8,16 a	1,75 a	6,41 a	39,36 b
100A:100E	8,46 a	1,62 a	6,84 a	42,23 b
50A:50E	7,54 a	1,75 a	5,79 a	50,83 a
100A:0E	9,98 a	2,64 a	7,34 a	42,80 b
CV (%)	17,81	20,43	20,41	12,55

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre os sistemas avaliados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

### 6.3 Correlações entre os compartimentos orgânicos de carbono e fósforo

Analisando as figuras 7 e 8, nota-se que os componentes 1 e 2 explicaram 77,33% e 71,84% da variação total do conjunto de dados respectivamente para a unidade experimental de Sinop e Seropédica.

Nota-se ainda, em ambos PCA, uma correlação positiva entre as frações de carbono e fósforo, principalmente em função da labilidade do nutriente. Nesse sentido, em Latossolo (Figura 7) as frações de carbono de maior labilidade (CL e COp) apresentaram maior correlação com o PoH. Em contrapartida a fração COam (fração mais estável) apresentou maior correlação com PoOH e Pres principalmente em função do componente 1. Já Planossolo (Figura 8), nota-se que a maioria das variáveis apresentou comportamento similar, em que as maiores correlações entre as frações de carbono e fósforo ocorreram entre COp, CL e Pobic, frações estas de maior labilidade.

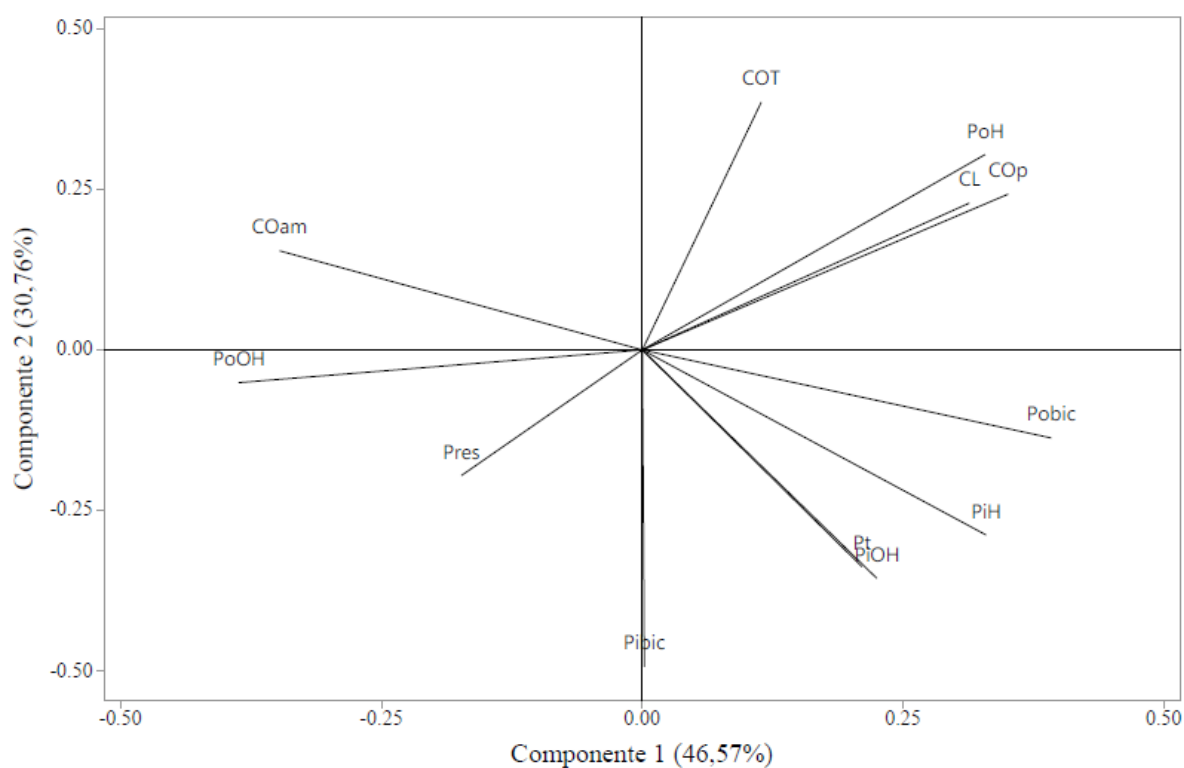


Figura 7. Diagrama de ordenação usando análise de componentes principais das características avaliadas no solo amostras coletadas na camada de 0-5 cm na unidade experimental de Sinop.

A distribuição das variáveis nas coordenadas de ambas as PCA (Figura 7 e 8), ressalta a importância da matéria orgânica na entrada de P lábil no sistema. Guareschi et al. (2013), verificaram uma correlação inversa entre as frações estáveis e lábeis na matéria orgânica.

Embora haja uma intensificação do processo de decomposição em plantios mistos, estimulada pela estequiometria (N:P) mais favorável da serapilheira de ambas as espécies (Santos et al., 2017b), a deposição acentuada desses resíduos com teores também elevados de lignina (especialmente da acácia) pode favorecer a permanência do P em compartimentos orgânicos, em detrimento da sua adsorção pela fase mineral do solo. Outros mecanismos não

estudados podem estar envolvidos na complexação do P mineralizado, impedindo sua adsorção como exsudação radicular e rizodeposição (FUSTEC et al., 2010; BAIS et al., 2016) através um alto *input* de N.

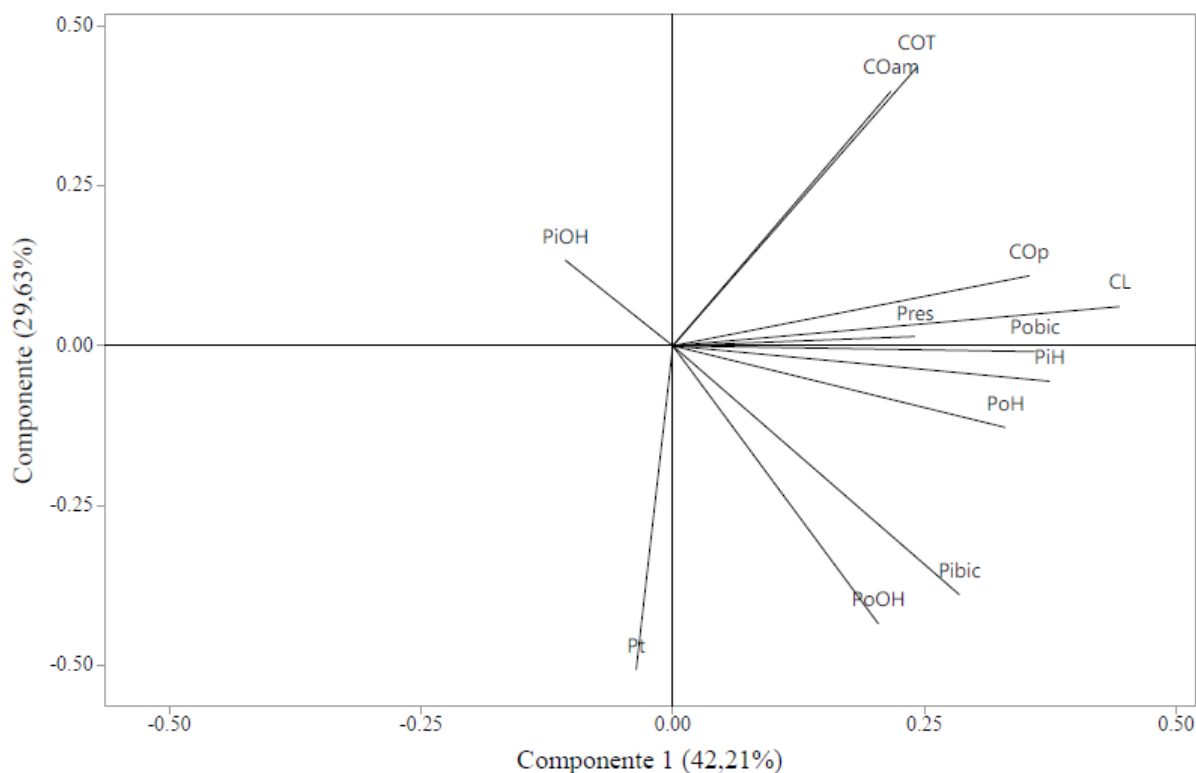


Figura 8. Diagrama de ordenação usando análise de componentes principais das características avaliadas no solo amostras coletadas na camada de 0-5 cm na unidade experimental de Seropédica.

O dendrograma obtido (Figura 9) mostrou que os tratamentos se agruparam em dois principais grupos em função das unidades experimentais. Vale ressaltar que além do clima e tipo de solo distintos, os experimentos apresentaram idades de plantio e arranjo das espécies de forma distinta (Figura X e Y). Fator este que pode interfere diretamente nos resultados (Oliveira et al., 2015).

Em cada unidade experimental, foi observado um tipo de similaridade distinta entre os tratamentos. Em Sinop, área de Latossolo, os plantios os quais apresentaram a acácia no sistema, tiveram uma maior similaridade em contrapartida os plantios monoespecíficos de eucalipto se assimilaram entre si. Já nos tratamentos presentes na unidade experimental de Seropédica, área de Planossolo, o plantio misto 50A:50E foi o que apresentou maior dissimilaridade em relação aos demais tratamentos sugerindo um ambiente mais específico.

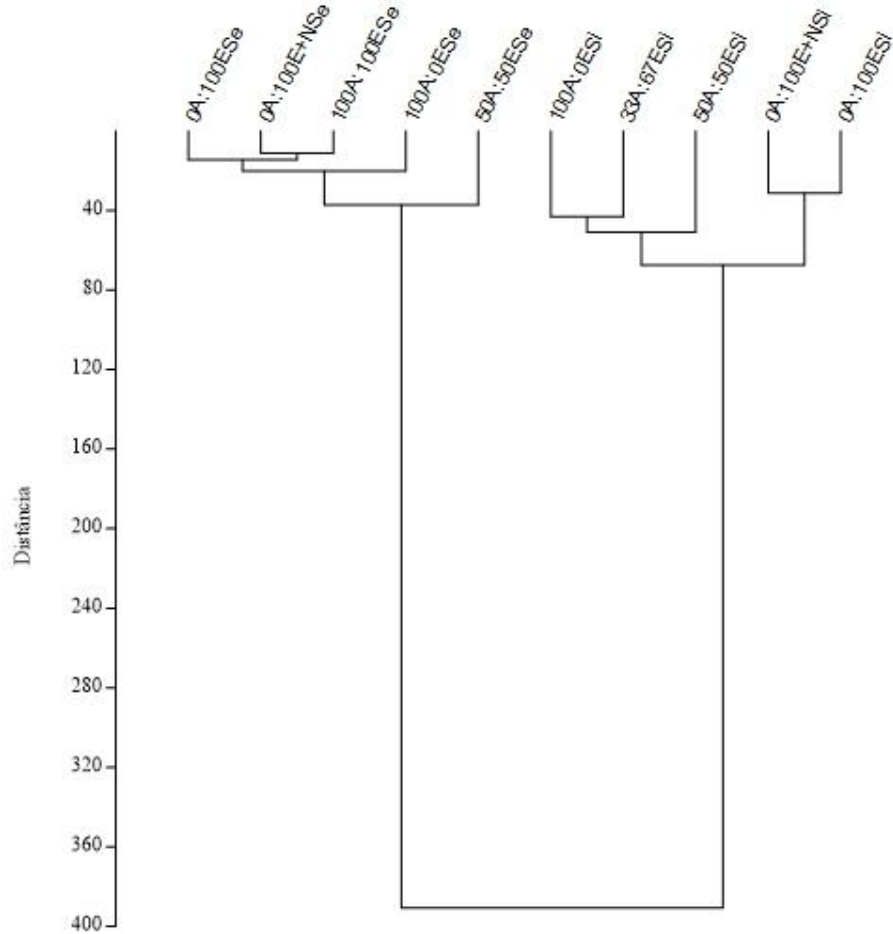


Figura 9. Análise hierárquica dos agrupamentos das variáveis de carbono e fósforo nas profundidades 0-5 e 5-10 cm em áreas de plantio monoespecífico e misto de eucalipto e acácia na unidade experimental de Seropédica (terminal Se) e Sinop (terminal Si).

## 7. CONCLUSÕES

O plantio misto entre o eucalipto e a acácia 50A:50E diminui a reserva de P inorgânico no solo, sendo em solos argilosos essa redução na fração mais lábil, enquanto nas áreas de textura arenosa ocorre na fração moderadamente lábil.

O plantio misto entre o eucalipto e a acácia 50A:50E proporciona uma alta correlação com as frações mais lábeis de carbono e fósforo no solo, sendo observado nesses aumentos dos mesmos no sistema.

O C lábil foi a fração de C mais sensível a presença da acácia em plantios florestais.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALONSO, J. K.; LELES, P. S. dos. S.; FERREIRA, L. do. N.; OLIVEIRA, N. da. S. A. Aporte de serapilheira em plantio de recomposição florestal em diferentes espaçamentos. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, p. 1-11, 2015.
- ANDRADE, F. V.; MENDONÇA, E. S.; ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F. Adição de ácidos orgânicos e húmicos em latossolos e adsorção de fosfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 1003-1011, 2003.
- ATIPANUMPAI, L. *Acacia mangium*: Studies on the genetic variation in ecological and physiological characteristics of a fast-growing plantation tree species. **Acta Forestalia Fennica**, v. 206, 1989, 92p.
- BACHEGA, L. R.; BOUILLET, J. P.; DE CÁSSIA PICCOLO, M.; SAINTANDRÉ, L.; BOUVET, J. M.; NOUVELLON, Y. GONÇALVES, J. L. M.; ROBIN, A. LACLAU, J. P. Decomposition of *Eucalyptus grandis* and *Acacia mangium* leaves and fine roots in tropical conditions did not meet the home field advantage hypothesis. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 359, p. 33-43, 2016.
- BAIS, H.P.; WEIR, T. L; PERRY, L.G.; GILROY, S.; VIVANCO, J.M. The role of root exudates in rhizosphere interactions with plants and other organisms. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 57, p. 233-266, 2006.
- BALIEIRO, F. C.; ALVES, B. J. R.; PEREIRA, M.G.; FARIA, S. M. de.; FRANCO, A. A.; CAMPELLO, E. F. C. Biological nitrogen fixation and nutrient release from litter of the guachapele leguminous tree under pure and mixed plantation with eucalyptus. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 3, p. 185-193, 2008.
- BALIEIRO, F. C.; FRANCO, A. A.; FONTES, R. L. F.; DIAS, L. E.; CAMPELLO, E. F.; FARIA, S. M. . Accumulation and distribution of aboveground biomass and nutrients under pure and mixed stands of *Pseudosamanea guachapele* Dugand e *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. **Journal of Plant Nutrition**, v. 2425, p. 2639-2654, 2002.
- BALIN, N. M.; ZIECH, A. R. D.; OLIVEIRA, J. P. M.; GIRARDELLO, V. C.; STUMPF, L.; CONCEIÇÃO, P. C. Frações da matéria orgânica, índice de manejo do carbono e atributos físicos de um latossolo vermelho sob diferentes sistemas de uso. **Scientia agraria**, Curitiba, v. 18, p. 85-94, 2017.
- BARRETO, R. C.; MADARI, B. E.; MADDOCK, J. E. L.; MACHADO, P. L. O. A.; TORRES, E.; FRANCHINI, J.; COSTA, A. R. The impact of soil management on aggregation, carbon stabilization and carbon loss as CO<sub>2</sub> in the surface layer of a rhodic ferralsol in Southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 132, p. 243-251, 2009.
- BATJES, N. H. Mitigation of atmospheric CO<sub>2</sub> concentration by increased carbon sequestration in the soil. **Biology and Fertility of Soils**, New York, v. 27, p. 230-235, 1998.

BAUHUS, J.; KHANNA, P. K.; MENDEN, N. Aboveground and belowground interactions in mixed plantations of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 30, p. 1886-1894, 2000.

BAYER, C.; BERTOL, I. Características químicas de um cambissolo húmico afetadas por sistemas de preparo com ênfase à matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 687-694, 1999.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um latossolo vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, p. 677- 683, 2004.

BEBER, E. C. **Estoque de carbono orgânico em Latossolo Vermelho sob diferentes usos agrícolas** [Monografia]. Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS, 2011.

BINI, D.; SANTOS, C. A. dos.; SILVA, M. C. P. da.; BONFIM, J. A.; CARDOSO, E. J. B. N. Intercropping *Acacia Mangium* stimulates AMF colonization and soil phosphatase activity in *Eucalyptus grandis*. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 75, p. 102-110, 2018.

BOTTEGA, E. L.; QUEIROZ, D. M.; PINTO, F. A.C.; SOUZA, C. M. A. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. **Ciência agrônômica**, v. 44, p. 1-9, 2013.

BOUILLET, J. P.; LACLAU, J.P; GONÇALVES, J.L.M.; MOREIRA, M.Z.; TRIVELIN, P.C.O.; JOURDAN, C.; SILVA, E.V.; PICCOLO, M.C.; TSAI, S.M.; GALIANA, A. Mixed-species plantations of *Acacia Mangium* and *Eucalyptus grandis* in Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 255, p.3918-3930, 2008.

BOUILLET, J. P.; LACLAU, J.P; GONÇALVES, J.L.M.; VOIGTLAENDER, M.; GAVA, J.L.; LEITE, F.P.; HAKAMADA. R.; MARESCHAL, L.; MABIALA, A.; TARDY F.; LEVILLAIN, J.; DELEPORTE, P.; EPRON, D.; NOUVELLON, Y. Eucalyptus and Acacia tree growth over entire rotation in singleand mixed-species plantations across five sites in Brazil and Congo. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 301, p. 81-101, 2013.

BOWMAN, R. A. A sequential extraction procedure with concentrated sulfuric acid and dilute base for soil organic phosphorus. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.53, p. 362 366, 1989.

BOWMAN, R. A.; COLE, C. V. An exploratory method for fractionation of organic phosphorus from grassland soils. **Soil Science**, Baltimore, v.125, p. 95-101, 1978.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 56, n. 2, p. 777-783, 1992.

CHRISTENSEN, B. T. Carbon in primary and secondary organomineral complexes. In: CARTER, M. R.; STEWART, B. A. (eds.). **Structure and organic matter storage in agricultural soils**. Boca Raton: CRC Lewis, 1996, p. 97-165.



CHRISTENSEN, B. T. **Organic matter in soil – structure, function and turnover**. DIAS Report. Plant Production, Tjele, 2000, 95p.

CHRISTENSEN, B.T. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. **Advances in Soil Science**, New York, v. 20, p. 2-76, 1992.

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

COLONNA, J. P.; THOEN, D.; DUCOUSSO, M.; BRADJI, S. Comparative effects of *Glomus etunicatum* and P fertilizer on foliar mineral composition of *Acacia senegal* seedlings inoculate with *Rhizobium*. **Mycorrhiza**, Berlin, v. 1, p. 35-38, 1991.

CONTE, E.; ANGHINONI, I.; RHEINHEIMER, D. S. Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatase ácida pela aplicação de fosfato em solo no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 925-930, 2002.

COSTA, M. G.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; GONÇALVES, J. L. M.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; SALES, M. V.; ALEIXO, S. Labile and non-labile fractions of phosphorus and Its transformations in soil under *Eucalyptus* Plantations, Brazil. **Forests**, v.7, 2016.

CROSS, A. F.; SCHLESINGER, W. H. A literature review and evaluation of the Hedley fractionation: Application to the biogeochemical cycle of soil phosphorus in natural ecosystems. **Geoderma**, v. 64, p. 197-214, 1995.

CUNHA, G. M.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; COSTA, G. S.; VELLOSO, A. C. X. Fósforo orgânico em solos sob florestas montanas, pastagens e eucalipto no norte fluminense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 667-671, 2007.

DENEF, K.; BUBENHEIM, H.; LENHART, K.; VERMEULEN, J.; VAN CLEEMPUT, O.; BOECKX, P.; MULLER, C. Community shifts and carbon translocation within metabolically-active rhizosphere microorganisms in grasslands under elevated CO<sub>2</sub>. **Biogeosciences**, v. 4, p. 1–11, 2007.

DENG, Q.; MCMAHON, D.E.; XIANG, Y.; YU, C.; JACKSON, R.B.; H, D. A global meta-analysis of soil phosphorus dynamics after afforestation. **New phytologist**, Lancaster, v.213, p.181-192, 2017.

DICK, W. A.; TABATABAI, M. A. Determination of orthophosphate in aqueous solutions containing labile organic and inorganic phosphorus compounds. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 6, p. 82- 85, 1977.

DIETER D.; ELSENBEEER H.; TURNER B. L. Phosphorus fractionation in lowland tropical rainforest soils in central Panama. **Catena**, v. 82, p. 118-125, 2010.

DONAGEMMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. D.; VIANA, J. H. M. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Documentos 132: 2a ed. Embrapa Solos: Rio de Janeiro – RJ. 230p. 2011.

DUDA, G. P. **Conteúdo de fósforo microbiano, orgânico e biodisponível em diferentes classes de solo** [Tese], Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2000.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, 1999, 412p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos 2ed. **Manual de Métodos de Análise de Solos**. Rio de Janeiro, 1997, 210p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos 5ed. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, 2018, 531p.

EMPRABA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Estação meteorológica automática da Unidade Agrossilvipastoril**. Disponível em <<https://www.embrapa.br/agrossilvipastoril/estacao-meteorologica>>. Acesso em: 08/09/2017.

FARIA, S. M.; DIEDHIOU, A. G.; DE LIMA, H. C.; RIBEIRO, R. D.; GALIANA, A.; CASTILHO, A. F.; HENRIQUES, J. C. Evaluating the nodulation status of leguminous species from the Amazonian forest of Brazil. **Journal of experimental botany**, v. 61, p. 3119-3127, 2010.

FELLER, C.; BEARE, M.H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. **Geoderma**, v.79, p.69-116, 1997.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **Global rorest resource assessment 2020: Guidelines and specifications**. Rome: FAO, 2018 (Working Paper 189). Disponível em <<http://www.fao.org/3/I8699EN/i8699en.pdf>>. Acesso em 08/12/2018.

FORRESTER, D. I.; BAUHUS, J.; COWIE, A. L.; Nutrient cycling in a mixed species plantation of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*, **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 233, p. 275-284, 2005.

FORRESTER, D. I.; BAUHUS, J.; COWIE, A. L.; VANCLAY, J. K. Mixed-species plantations of eucalyptus with nitrogen fixing trees: a review. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 233, n. 2-3, p. 211-230, 2006.

FORRESTER, D. I.; PARES, A.; HARA, C.O.; KHANNA, P. K.; BAUHUS, J. Soil organic carbon is increased in mixed-species plantations of Eucalyptus and nitrogen-fixing Acacia. **Ecosystems**, v. 16, p. 123–132, 2013.

FUSTEC, J.; LESUFFLEUR, F.; MAHIEU, S.; CLIQUET, J-B. Nitrogen rhizodeposition of legumes. A review. **Agronomy for sustainable development**, Paris, v. 30, p. 57–66, 2010.

FREIXO, A. A.; CANELLAS, L. P.; MACHADO, P. L. O. A. Propriedades espectrais da matéria orgânica leve livre e leve intra-agregado de dois latossolos sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 445- 453, 2002.

GAMA-RODRIGUES, A. C. **Ciclagem de nutrientes por espécies florestais em povoamentos puros e mistos, em solos tabuleiros da Bahia** [Tese]. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. S.; FLORES, J. P. C. Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 691-699, 2007.

GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G.; RHEINHEIMER, D. S.; KAMINSKII, J. Fracionamento Químico das Formas de Fósforo do Solo: Uso e Limitações. In: **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência de Solo, v. 8, p. 141-187, 2013.

GHANI, A.; DEXTER, M.; PERROTT, K.W. Hot-water extractable carbon in soils: a sensitive measurement for determining impacts of fertilisation, grazing and cultivation. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v.35, n.9, p.1231-1243, 2003.

GODINHO, T. de O. **Fertilidade e frações de fósforo em solos sob povoamento monoespecíficos e mistos de *Eucalyptus* e *Acacia mangium*** [Tese]. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2015.

GOLCHIN, A.; OADES, J. M.; SKJEMSTAD, J. O., CLARKE, P. Soil structure and carbon cycling. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 32, n. 5, p. 1043-1068, 1994.

GRIERSON, P. F.; SMITHSON, P.; NZIGUHEBA, G.; RADER SMA, S. e COMERFORD, N.B. Phosphorus dynamics and mobilization by plants. In: NOORDWISK, M. van.; CADISCH, G.; ONG, C. K. **Below-ground interactions in tropical agroecosystems. Concepts and models with multiple plant componentes**, p. 127-142, 2004.

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Frações da matéria orgânica em áreas de Latossolo sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado do estado de Goiás. **Ciências Agrárias**, v. 34, p. 2615-2628, 2013.

GUERRA, J. G. M.; FONSECA, M. C. C.; ALMEIDA, D. J.; DE-POLLI, H.; FERNANDES, M. S. Conteúdo de fósforo em amostras de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, p. 291-299, 1996.

GUO, F.; YOST, R.S.; HUE, N.V.; EVENSEN, C.I. e SILVA, J.A. Changes in phosphorus fractions in soils under intensive plant growth. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, p. 1681-1689, 2000.

HARRISON, A. F. **Soil organic phosphorus**. Wallingford, CAB International, 1987, 257p.

HAYNES, R. J. Labile organic matter as an indicator of organic matter quality in arable and pastoral soils in New Zealand. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 2, p. 211-219, 2000.

HOLFORD, I. C. R. Soil phosphorus: Its measurement, and its uptake by plants. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 35, n. 2, p. 227-240, 1997.

INAGAKI, M.; KAMO, K.; MIYAMOTO, K. Nitrogen and phosphorus retranslocation and N:P ratios of litterfall in three tropical plantations: luxurious N and efficient P use by *Acacia mangium*. **Plant Soil**, v. 34, p. 295–307, 2011.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório anual IBÁ 2017**. Brasília, 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Dados climáticos de Estações Automáticas**. Disponível em: < [www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br) >. Acesso em 27/08/2017.

JAMES, R.; DEL, L. A. **The potential for fast-growing commercial forest plantations to supply high value roundwood**. **Planted Forests and Trees Working Papers**, Working Paper 33. Forest Resources Development Service, Forest Resources Division. FAO, Rome, Rome, Italy, 2005.

KAYE, J.P.; RESH, S.C.; KAYE, M.W.; CHIMNER, R.A., Nutrient and carbon dynamics in a replacement series of *Eucalyptus* and *Albizia* trees. **Ecology**, v.81, p.3267-3273, 2000.

KEONG, T. C. *Acacia mangium* Willd: uma espécie para plantação em campos de *Imperata cylindrica* (L) Beauv. em Sabah. **Silvicultura**, São Paulo, v.8, p. 321-326, 1983.

KIRKBY, C.A.; KIRKEGAARD, J.A.; RICHARDSON, A.E.; WADE, L.J.; BLANCHARD, C.; BATTEN, G. Stable soil organic matter: A comparison of C:N:P:S ratios in Australian and other world soils. **Geoderma**, v. 163, p.197-208, 2011.

KIRKBY, C.A.; RICHARDSON, A.E.; WADE, L.J.; BATTEN, G.; BLANCHARD, C.; KIRKEGAARD, J.A. Carbon-nutrient stoichiometry to increase soil carbon sequestration. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 60, p.77-86, 2013.

KLEINPAUL, I. S.; SCHUMACHER, M. V.; VIERA, M.; NAVROSKI, M. C. Plantio misto de *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mearnsii* em sistema agroflorestal: I-Produção de biomassa. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 4, p. 621-627, 2010.

KLEIN, V. A. **Física do solo**. Ed. Universidade de Passo Fundo. 3º edição, 2014.

KUO, S. Phosphorus. In: SPARKS, D. L. (ed) **Methods of soil analysis. Part 3-Chemical Methods**. Madison: Soil Science Society of America, 1996, p. 869-919.

LACLAU, J. P; BOUILLET, J. P; GONÇALVES, J. L. M; SILVA, E. V; JOURDAN, C; CUNHA, M. C. S. Mixed-species plantations of *Acacia mangium* and *Eucalyptus grandis*, in Brazil 1. Growth dynamics and aboveground net primary production. **Forest Ecology and Management**, v. 255, p. 3905-3917, 2008.

- LARSEN, S. Soil phosphorus. **Advances in Agronomy**, v. 19, p. 151-210, 1957.
- LEITE, L. F.C. **Matéria orgânica no solo**. EMBRAPA Meio-Norte, 2004, 31p.
- LIMA, W. P. **Impacto ambiental do eucalipto**. 2nd ed. São Paulo: Ed. Universidade de São Paulo, 1996, 301p.
- LIMA, W. P. **O reflorestamento com eucalipto e seus impactos ambientais**. São Paulo: Artpressm 1987, 114p.
- LI, Z.; PENG, S. L.; RAE, D. J.; ZHOU, G. Litter decomposition and nitrogen mineralization of soils in subtropical plantation forests of southern China, with special attention to comparisons between legumes and non-legumes. **Plant and Soil**, v. 229, p. 105-116, 2001.
- LOGAN, A. F. Australian acacias for pulpwood. In: TURNBULL, J. W. **Australian Acacias in developing countries**. Camberra, AU: ACIAR, 1986, p. 89-93.
- LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e como rendimento do milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 175-187, 2004.
- MATOS, E. S.; MENDONÇA, E. S.; VILLANI, E. M. A.; LEITE, L. F. C.; GALVÃO, J. C. C. Formas de fósforo no solo em sistemas de milho exclusivo e consorciado com feijão sob adubação orgânica e mineral. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 625-632, 2006.
- MENDONÇA, A. V. R.; CARNEIRO, J. G. A.; BARROSO, D. G.; SANTIAGO, R. A.; FREITAS, T. A. S.; SOUZA, J. S. Desempenho de quatro espécies de Eucalyptus spp. em plantios puros e consorciados com sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth) em cava de extração de argila. **Revista Árvore**, v. 32, p. 395-405, 2008.
- MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade dos sistemas agrícolas. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo – ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre, Metrópole, 2008, p.1-5.
- MIRANDA, C. C.; CANELLAS, L. P.; NASCIMENTO, M. T; Caracterização da matéria orgânica do solo em fragmentos de Mata Atlântica e em plantios abandonados de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 905-916, 2007.
- NAMBIAR, E. K. S. Pursuit of sustainable plantation forestry. **South African Forestry Journal**, v. 184, p. 45-61, 1999.
- NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999, 399p.
- OLIVEIRA, F. L. R.; CABACINHA, C. D.; SANTOS, F. D. T.; BARROSO, D. G.; SANTOS, A.; BRANT, M. C.; SAMPAIO, R. A. Crescimento inicial de eucalipto e acácia,

em diferentes arranjos de integração lavoura-pecuária-floresta. **Cerne**, v. 21, p. 227-233, 2015.

OLIVEIRA, R. I.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; ZAIA, F. C.; PEREIRA, M. G.; FONTANA, A. Organic phosphorus in diagnostic surface horizons of different Brazilian soil orders. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, p. 1411–1420, 2014.

PASSOS, R. R.; RUIZ, H. A.; MENDONÇA, E. de S.; CANTARUTTI, R. B.; SOUZA, A. P. de. Substâncias húmicas, atividade microbiana e carbono orgânico lábil em agregados de um latossolo vermelho distrófico sob duas coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 1119-1129, 2007.

PAULA, R. R.; BOUILLET, J.P.; GONÇALVES, J. L.; TRIVELIN, P. C. O.; BALIEIRO, F. C.; NOUVELLON, J. C.; JÚNIOR, J. C.; BORDON, B.; LACLAU, J.P. Nitrogen fixation rate of *Acacia mangium* Wild at mid rotation in Brazil is higher in mixed plantations with *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden than in monocultures. **Annals of Forest Science**, v. 75, p. 1-14, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13595-018-0695-9>.

PEGAGORO, R. F.; SILVA, I. R. da.; NOVAIS, R. F. de.; BARROS, N. F. de.; CANTARUTTI, R. B.; FONSECA, S. Estoques de carbono e nitrogênio em Argissolo submetido ao monocultivo de *Eucalyptus urograndis* e em rotação com *Acacia mangium*. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 4, p. 933-943, 2014.

PEREIRA, A. P. A.; BIGATON, A. D. ; GUMIERE, T. ; Gonçalves, J. L. M. ; ROBIN, A. ; BOIULLET, J. D. ; WANG, J. ; VERMA, J. P. ; SINGH, B. K. ; CARDOSO, E. J. B. N. . Mixed Eucalyptus plantations induce changes in microbial communities and increase biological functions in the soil and litter layers. **Forest ecology and management**, v. 433, p. 332-342, 2018.

PRYOR, L. D. **The biology of eucalyptus**. London: Edward Arnold; 1976, 82p.

RACHID, C.T.CC.; BALIEIRO, F.C.; PEIXOTO, R.S.; PINHEIRO, Y.A.S.; PICCOLO, M.C.; CHAER, G.M.; ROSADO, A.S. Mixed plantations can promote microbial integratin and soil nitrate increases with changes in the N cycling genes. **Soil Biology e Biochemistry**, v. 66, p. 146-153, 2013.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo, Agronômica Ceres, 1991, p. 343.

RAMOS, D. P.; CASTRO, A. F.; CAMARGO, M. N. Levantamento detalhado de solos da área da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 8, p.1-27, 1973.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A.; GUIMARÃES, P. T. G.; GUILHERMES, L. R. G. Frações oxidáveis do carbono orgânico de latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, p. 429-437, 2008.

R Development Core Team, 2018. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Retrieved from: <<http://www.R-project.org>>.

RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I. Accumulation of soil organic phosphorus by soil tillage and cropping systems in subtropical soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 34, p. 2339-2354, 2003.

RHEINHEIMER, D.S.; GATIBONI, L.C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.38, p. 576-586, 2008.

ROCHA JUNIOR, P. R.; DONAGEMMA, G. K.; ANDRADE, F. V.; PASSOS, R. R.; BALIEIRO, F. C.; MENDONÇA, E. S.; RUIZ, H. A. Can soil organic carbon pools indicate the degradation levels of pastures in the Atlantic Forest biome **Journal of Agricultural Science**, v.6, p. 84-95, 2014.

ROSCOE, R.; BODDEY, R. M.; SALTON, J. C. Sistemas de Manejo e Matéria Orgânica do Solo. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. (eds.). **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006, p. 17-42.

ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. O. A. **Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica**. EMBRAPA Agropecuária Oeste e EMBRAPA Solos, 2002, 86p.

ROLIN-NETO, F. C.; SCHAEFER, C. E. G. R.; COSTA, L. M.; CORRÊA, M. M.; FERNANDES FILHO, E. I.; IBRAIMO, M. M. Adsorção de fósforo, superfície específica e atributos mineralógicos em solos desenvolvidos de rochas vulcânicas do Alto Paranaíba (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v, 28, p. 953-964, 2004.

SALTON, J. C; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C. **Matéria Orgânica do Solo na Integração Lavoura-Pecuária em Mato Grosso do Sul**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 2005, 58p.

SANCHEZ, P. A. Soil organic matter. In: SANCHEZ, P. A. (ed.). **Properties and management of soils in the tropics**. New York: John Wiley, 1976. p. 162-183.

SANTOS, F. M.; BALIEIRO, F. C.; ATAÍDE, D. H. dos. S.; DINIZ, A. R.; CHAER, G. M. Dynamics of aboveground biomass accumulation in monospecific and mixed-species plantations of Eucalyptus and Acacia on a Brazilian Sandy soil. **Forest Ecology and Management**, v. 363, p. 86-97, 2016.

SANTOS, M. F.; BALIEIRO, F. C.; FONTES, M. A.; CHAER, G.M. Understanding the enhanced litter decomposition of mixed-species plantations of *Eucalyptus* and *Acacia mangium*. **Plant and Soil**, v. 423, p.141-155, 2017a.

SANTOS M. F.; CHAER G. M.; DINIZ, A. R.; BALIEIRO, F. C. Nutrient cycling over five years of mixed-species plantations of *Eucalyptus* and *Acacia* on a sandy tropical soil. **Forest Ecology Management**, v. 384, p. 110–121, 2017b.

SANTOS, A. B. dos.; SANTOS, F. M.; SILVA, R. B. da.; BALIEIRO, F. C.; CHAER, G. M. **Biomassa e atividade microbiana do solo em plantios puros e mistos de eucalipto e *Acacia mangium* submetidos ao preparo mínimo e intensivo do solo.** Boletim de Pesquisa e desenvolvimento, 2010, 18p.

SANTOS, D. C. dos.; FARIAS, M. de O.; LIMA, C. L. R. de.; KUNDE, R. J.; PILILON, C. N.; FLORES, C. A. Fracionamento químico e físico da matéria orgânica de um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso. **Ciência rural.**, v. 43, n. 5, 2013.

SANTOS, D. R. dos.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 38, n. 2, p. 576-586, 2008.

SCHULZE, D. G. An introduction to soil mineralogy. In: DIXON, J. B.; WEED, S. B. (eds.). **Minerals in Soils Environments.** Madison, 1989, p.1-34.

SCHUMACHER, M.V.; BRUM, E.J.; RODRIGUES, L.M.; SANTOS, E.M. Retorno de nutrientes via deposição de serapilheira em um povoamento de Acácia-negra (*Acácia mearnsii* de Wild.) no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Árvore**, v. 27, n. 6, p. 791-798, 2003.

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

SILVA, M. S. **Uso de indicadores biológicos para avaliação da qualidade do solo sob cultivo de culturas agroenergéticas em Pedro Afonso, Tocantins** [Dissertação] Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2014.

SILVA, P. C.M.; CHAVES, L. H. G. Avaliação e variabilidade espacial de fósforo, potássio e matéria orgânica em alissolos. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v. 5, p. 431-436, 2001.

SILVEIRA, G. S. **Emissões de gases de efeito estufa e estoque de carbono e nitrogênio em área de plantio misto de eucalipto e acácia no norte Mato-Grossense** [Dissertação], Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2018.

SOUZA, E. D.; COSTA, S. E. V. G. A.; LIMA, C. V. S.; ANGHIONI, I.; MEURER, E. J.; CARVALHO, P. C.F. Carbono orgânico e fósforo microbiano em sistema de integração agricultura-pecuária submetido a diferentes intensidades de pastejo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 2, p. 1273-1282, 2008.



STUTTER, M.I.; SHAND, C.A.; GEORGE, T.S.; BLACKWELL, M.S.A.; BOL, R.; MACKAY, R.L.; RICHARDSON, A.E.; CONDRON, L.M.; TURNER, B.L.; HAYGARTH, P.M. Recovering phosphorus from soil: a root solution?. **Environmental Science e And Technology**, v. 46, p. 1977–1978, 2012.

STUTTER, M. I., SHAND, C. A., GEORGE, T. S., BLACKWELL, M. S. A., DIXON, L., BOL, R., MACKAY, R. L., RICHARDSON, A. E., CONDRON, L. M., HAYGARTH, P. M. Land use and soil factors affecting accumulation of phosphorus species in temperate soils. **Geoderma**, 2015.

TAN, B.; FAN, J.; HE, Y.; LUO, S.; PENG, X. Possible effect of soil organic carbon on its own turnover: A negative feedback. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 69, p. 313-319, 2013.

TIECHER T.; RHEINHEIMER, D.S.; CALEGARI, A. Soil organic phosphorus forms under diferente soil management systems and winter crops, in a long term experimente. **Soil e Tillage Research**, v. 124, p.57-67, 2012.

TIESSEN, H.; MOIR, J. O. Characterization of available P by sequential extraction. In: CARTER, M.R., (ed). Soil sampling and methods of analysis. Canadian Society of Soil Science. **Lewis Publisher**, Boca Raton, 1993, p. 75-86.

TOKURA, A.M. **Formas de fósforo em diferentes solos sob plantio direto em comparação a áreas adjacentes não cultivadas** [Dissertação]. Universidade Federal de Lavras – UFLA, 2001.

TONINI, H; HALFELD-VIEIRA, B. A. Introdução. In: TONINI, H.; HALFELD-VIEIRA, B.A.; SILVA, S.J.R. (ed.). **Acacia mangium: características e seu cultivo em Roraima**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Boa Vista: Embrapa Roraima, 2010. p. 13 16.

TURNER, B. L., ENGELBRECHT, B. M. J. Soil organic phosphorus in lowland tropical rain forests. **Biogeochemistry**, v. 103, p. 297-315, 2011.

UDARBE, M. P.; HEPBURN, A. Development of *Acacia mangium* as a plantation species in Sabah. In: TURNBULL, J. W. **Australian Acacias in developing countries**. Canberra, AU: ACIAR, 1986. p.157-159.

VADEZ, V.; LIM, G.; DURAND, P.; DIEM, H.G. Comparative growth and symbiotic performance of *Acacia mangium* provenances from Papua New Guinea in response to the supply of phosphorus at various concentrations. **Biology and fertility of soils**, Berlim, v. 19, p. 60-64, 1995.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma revisão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 33, p. 743-755, 2009.

VEZZANI, F. M.; TEDESCO, M. J.; BARROS, N F. Alterações dos nutrientes no solo e nas plantas em consórcio de Eucalipto e Acácia Negra. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 225-231, 2001.

VIANA, J. H. M.; SPERA, S. T.; MAGALHAES, C. A. de. S.; CALDERANO, S. B.; **Caracterização dos solos do Sítio Experimental dos Ensaio do Projeto Safrinha em Sinop-MT**. Comunicado Técnico, 2015.

VIERA M, SCHUMACHER M. V, LIBERALESSO E. Crescimento e produtividade de povoamentos monoespecíficos e mistos de eucalipto e acácia-negra. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 2011, v. 41, p. 415-421.

VOIGTLAENDER, M. **Produção de biomassa aérea e ciclagem de nitrogênio em consórcio de genótipos de *Eucalyptus* com *Acacia mangium*** [Tese]. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

WANDER, M. M., TRAINA, S. J. Organic matter fractions from organically and conventionally managed soils: I. Carbon and nitrogen distribution. **Soil Science Society of America Journal**, v. 60, p. 1081–1087, 1996.

WEIL, R. R.; ISLAN, K. R.; STINE, M. A.; GRUVER, J. B.; SAMSON-LIEBIG, S. Estimating active carbon for soil quality assessment: A simplified method for laboratory and field use. **American Journal of Alternative Agriculture**, v. 18, p. 3–17, 2003. DOI: 10.1079/ AJAA2003003.

YANG, K.; ZHU, J.; GU, J.; YU, L.; WANG, Z. Changes in soil phosphorus fractions after 9 years of continuous nitrogen addition in a *Larix gmelinii* plantation. **Annals of Forest Science**, v. 72, p. 435-442, 2015.

ZAIA, F.C. **Fósforo orgânico do solo em sistemas agroflorestais de cacau no sul da Bahia** [Tese]. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. 2009.

ZAIA, F. C.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; EMANUELA FORESTIERI DA GAMA RODRIGUES, E. F.; MACHADO, R. C. R. Formas de fósforo no solo sob leguminosas florestais, floresta secundária e pastagem no norte fluminense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 1191-1197, 2008.

ZHAO, Q.; ZENG, D.; FAN, Z.; LEE, D.K. Effect of land cover change on Soil phosphorus fractions in Southeastern Horqin Sandy Land, Northern China. **Soil Science Society of China**, v. 18, p.741-748, 2008.