

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP**  
**CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**INFLUÊNCIA DO COMPONENTE FLORESTAL NA  
PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA EM SISTEMAS DE  
INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA FLORESTA**

**Vinicius Marchioro**

Engenheiro Agrônomo

2019

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP**  
**CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**INFLUÊNCIA DO COMPONENTE FLORESTAL NA  
PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA EM SISTEMAS DE  
INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA FLORESTA**

**Vinicius Marchioro**

**Orientador: Prof. Dr. José Eduardo Corá**

**Coorientador: Prof. Dr. Onã da Silva Freddi**

**Dissertação apresentada à Faculdade de  
Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp,  
Campus de Jaboticabal, como parte das  
exigências para a obtenção do título de  
Mestre em Agronomia (Produção Vegetal).**

**2019**

M317i

Marchioro, Vinicius

Influência do componente florestal na produtividade agrícola em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta / Vinicius Marchioro. -- Jaboticabal, 2019  
43 p. : il. + 1 CD-ROM

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientador: José Eduardo Corá

Coorientador: Onã da Silva Freddi

1. Sistema agrossilvipastoril. 2. Água no solo. 3. Eucalipto. 4. Soja. 5. Milho. I.  
Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



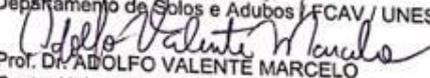
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

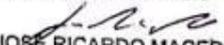
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: INFLUÊNCIA DO COMPONENTE FLORESTAL NA PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA

AUTOR: VINÍCIUS MARCHIORO  
ORIENTADOR: JOSÉ EDUARDO CORÁ  
COORIENTADOR: ONÃ DA SILVA FREDDI

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:

  
Prof. Dr. JOSÉ EDUARDO CORÁ  
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal

  
Prof. Dr. ADOLFO VALENTE MARCELO  
Centro Universitário de Rio Preto - UNIRP / São José do Rio Preto/SP

  
Prof. Dr. JOSÉ RICARDO MACEDO PEZZOPANE  
Centro de Pesquisa de Pecuária do Sudeste-EMBRAPA / São Carlos/SP

Jaboticabal, 01 de agosto de 2019

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

Vinicius Marchioro, nascido em 29/07/1994, na cidade de Rondonópolis, Mato Grosso. cursou Engenharia Agrônoma, na Universidade Federal de Mato Grosso, campus de Sinop e, atualmente, é mestrando do programa de pós-graduação em Agronomia (Produção Vegetal) na Universidade Estadual Paulista, campus de Jaboticabal.

“Nunca, jamais desanimeis, embora venham ventos contrários.”

Santa Paulina

Dedico

A meus pais, Marcos Antônio Marchioro e Terezinha Vian Marchioro, por todo apoio e amor nesta jornada.

A meu irmão, Marcos Antônio Marchioro Junior, pela amizade e apoio.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela minha vida e por nunca me desamparar.

À Santa Paulina, minha protetora e confidente, por sempre guiar meus passos.

Ao meu orientador, Prof. Dr. José Eduardo Corá, pela oportunidade a mim confiada e por ser mais que um simples orientador, mas também um amigo e até mesmo um pai, quando dele precisei. Por todo companheirismo, ensinamentos e momentos que pude estar ao seu lado.

Ao meu coorientador, Prof. Onã da Silva Freddi, pelos ensinamentos e amizade de longa data.

A Hugo, Almir, Henildo, Samara e Fernando, pela amizade, companheirismo e toda ajuda dispensada à realização deste trabalho.

Aos amigos Wanderson, Maycon, Renan, Matheus, Rodrigo e Daniel pela amizade e apoio.

À Claudia e Aduino, técnicos do departamento de Solos e Adubos, pelo convívio e aprendizado.

A Marcelo Scatolin, pela amizade e por todo apoio a mim dispensado.

Aos professores Célia Regina Paes Bueno, Antônio Sergio Ferraudó, Glauco de Souza Rolim, Mara Cristina Pessôa da Cruz e Carolina Fernandes pelas conversas e ensinamentos.

À Gabriela Mourão de Almeida, pela amizade, carinho e apoio a cada momento.

Enfim, à todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste projeto.

## SUMÁRIO

RESUMO.....	IX
ABSTRACT .....	X
LISTA DE FIGURAS .....	XI
1. INTRODUÇÃO.....	13
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1 Cenário agrícola brasileiro .....	15
2.2 Sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA).....	16
2.3 Efeitos dos sistemas integrados de produção nos atributos químicos e físicos do solo .....	17
2.4 Interação entre os componentes do sistema ILPF .....	18
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	20
3.1 Área de estudo.....	20
3.2 Tratamentos .....	20
3.3 Coleta e análise de dados.....	22
3.4 Análises estatísticas.....	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	26
4.1 Umidade do solo .....	26
4.2 Atributos químicos.....	30
4.3 Produtividade das culturas agrícolas.....	32
5. CONCLUSÕES.....	38
6. REFERÊNCIAS .....	39

## INFLUÊNCIA DO COMPONENTE FLORESTAL NA PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA

**RESUMO** - Sistemas como a integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) têm ganhado destaque e importância econômica na agricultura brasileira, devido a estes intensificarem o uso da terra na produção de alimentos e energia, além de melhorarem as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Complexidade de manejo e efeitos competitivos têm sido observados entre componentes em sistemas integrados, o que pode vir a prejudicar sua sustentabilidade a longo prazo. Objetivou-se monitorar a umidade do solo e a produtividade do componente agrícola, em dois sistemas ILPF, os quais diferiram apenas pela espécie do componente florestal (clone Urograndis I144 e *Corymbia citriodora*), no norte do estado de São Paulo (21°13'56" S, 48°17'19" O), em um Latossolo Vermelho distrófico, com valores de 310 g kg<sup>-1</sup>, 20 g kg<sup>-1</sup> e 670 g kg<sup>-1</sup> de argila, silte e areia, respectivamente, na camada 0 0,20 m. Em 2017 (quarto ano), utilizou-se tensiômetros, instalados a 0,20 m de profundidade, equidistantes a 3 metros, na área entre renques, para melhor compreender o processo de umidade do solo dentro destes sistemas e foram avaliadas as produtividades do milho segunda safra, cultivado nos anos agrícolas de 2014 a 2019 e da soja, cultivada nas safras 2017/2018 e 2018/2019. Influência negativa foi observada na umidade do solo e na produtividade das culturas agrícolas em função da proximidade das árvores, locais onde a produtividade do milho decaiu a partir do segundo ano de cultivo e a produtividade da soja foi menor, em ambos os sistemas ILPF. Maior distância entre renques do componente florestal e maior distância de semeadura da cultura agrícola em relação às árvores devem ser adotadas na busca de viabilizar o sistema a longo prazo.

**Palavras-chave:** Sistemas agrossilvipastoril, Intensificação produtiva, Água no solo, Eucalipto, Soja, Milho.

## INFLUENCE OF THE FOREST COMPONENT ON AGRICULTURAL PRODUCTIVITY IN INTEGRATED CROP-LIVESTOCK-FOREST SYSTEMS

**ABSTRACT** – Systems such as crop-livestock-forest integration (ICLF) have gained prominence and economic importance in Brazilian agriculture, as they intensify land use in food and energy production, as well as improve the physical, chemical and biological properties of the soil. Management complexity and competitive effects have been observed between components in integrated systems, which may undermine their long-term sustainability. The objective was to monitor soil moisture and agricultural component productivity in two ICLF systems, which differed only by forest component species (clone Urograndis I144 and *Corymbia citriodora*) in northern São Paulo State (21°13'56" S, 48°17'19" O), in a dystrophic Red Latosol, with values of 310 g kg<sup>-1</sup>, 20 g kg<sup>-1</sup> and 670 g kg<sup>-1</sup> of clay, silt and sand, respectively, in layer 0 0.20 m. In 2017 (fourth year), tensiometers installed at a depth of 0.20 m, equidistant at 3 meters in the area between rigs, were used to better understand the soil moisture process within these systems and the yields of second crop maize cultivated in the years 2014 to 2019 and soybean, cultivated in the 2017/2018 and 2018/2019 crops. Negative influence was observed on soil moisture and crop yield due to the proximity of trees, where corn yields declined from the second year of cultivation and soybean yield was lower in both ICLF systems. Greater distance between forest component rows and greater seeding distance of the crop compared to trees should be adopted in order to make the system viable in the long term.

**Keywords:** Agrosilvipastoral systems, Intensification of production, Soil water, Eucalyptus, Soybean, Corn.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Balanço hídrico do solo para os anos de 2014 a 2019 (“a” a “f” respectivamente).....	22
Figura 2. Esquema ilustrativo mostrando os pontos de coleta de dados de solo e planta. ....	23
Figura 3. Valores diários de temperatura média e precipitação pluviométrica, durante monitoramento da umidade do solo, na cultura do milho segunda safra do ano de 2017. ....	23
Figura 4. Umidade volumétrica média do solo ( $\theta$ ), durante parte do ciclo do milho ano 2017, na camada 0 0,20 m, em Latossolo Vermelho distrófico, sob sistemas ILPF. Posição 1 a mais próxima do componente florestal do lado norte da área entre renques e posição 7, a mais próxima do componente florestal do lado sul. Médias nas quais as barras de erro se sobrepõem não apresentam diferença significativa a 5% de probabilidade.....	26
Figura 5. Gráficos biplot da análise de componentes principais para sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta utilizando eucalipto Urograndis (a) e Citriodora (b) em Latossolo Vermelho distrófico. Os atributos representados são: Umidade do solo (números 1 a 7 das variáveis, representando as posições onde foi medida a umidade do solo, na camada 0 0,20 m, sendo a posição 1 a mais próxima do componente florestal ao lado norte da área entre renques e posição 7, a mais próxima do componente florestal ao lado sul.); parâmetros climáticos (P: precipitação pluviométrica, D: número de dias sem chuvas, $T_{\uparrow}$ , $T_{\downarrow}$ e T: temperatura máxima, mínima e média, respectivamente); dias de monitoramento da umidade do solo (números 1 a 85 no gráfico). ....	27
Figura 6. Valores diários de umidade volumétrica do solo, sob sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta, utilizando eucalipto Urograndis (esquerda) e Citriodora (direita), em Latossolo Vermelho distrófico. Posição 1 a mais próxima do componente florestal ao lado norte da área entre renques e posição 7, a mais próxima do componente florestal ao lado sul.....	29
Figura 7. Teores de fósforo lábil (P), Potássio trocável (K) e valores de saturação por bases (V%), na camada 0 0,20 m, em Latossolo Vermelho distrófico, sob sistemas	

- ILPF, amostrados em novembro de 2017. Posição 1 a mais próxima do componente florestal ao lado norte da área entre renques e posição 7, a mais próxima do componente florestal ao lado sul. Médias quais as barras de erro se sobrepõem não apresentam diferença significativa (5% de probabilidade). .....31
- Figura 8. Produtividade do milho segunda safra, sob sistemas ILPF, ano de 2014 a 2019 (“a” a “e” respectivamente). Posição 1 a mais próxima do componente florestal ao lado norte da área entre renques e posição 7, a mais próxima do componente florestal ao lado sul. Médias quais as barras de erro se sobrepõem não apresentam diferença significativa (5% de probabilidade). .....33
- Figura 9. Produtividade da soja, sob sistemas ILPF, ano agrícola 2017/2018 (“a”) e 2018/2019 (“b”). Posição 1 a mais próxima do componente florestal ao lado norte da área entre renques e posição 7, a mais próxima do componente florestal ao lado sul. Médias quais as barras de erro se sobrepõem não apresentam diferença significativa (5% de probabilidade). .....35

## 1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de manejo integrados têm ganhado destaque nas lavouras brasileiras, abrangendo mais de 11,5 milhões de hectares (EMBRAPA, 2019). Sistemas como a integração lavoura-pecuária (ILP) e a integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) têm se mostrado eficientes na recuperação de áreas degradadas, conservação dos recursos naturais e melhoria da qualidade dos solos, além de possibilitar intensificação e diversificação produtiva das

O sistema ILPF consiste na integração dos componentes agrícola, pecuário e florestal, em rotação, consorciação ou sucessão de cultivo. No Brasil, o componente agrícola é mais comumente composto por espécies anuais como a soja e o milho, já no componente pecuário podem ser utilizadas forrageiras de diversos gêneros, sendo as mais comuns do gênero *Urochloa* (braquiárias). O componente florestal da ILPF pode ser composto por ampla quantidade de espécies arbóreas, sendo o eucalipto a principal espécie florestal utilizada em plantios comerciais.

A integração de árvores nos sistemas integrados (ILPF) tem crescido nos últimos anos, porém, em menor intensidade, quando comparado com outras práticas de manejo como o plantio direto e ILP, provavelmente, por apresentar maior complexidade e exigir maior conhecimento técnico o que proporciona menor adoção pelos produtores rurais.

A inserção de árvores nas áreas de produção integrada pode acarretar alterações nas dinâmicas do sistema (água, luz, nutrientes, entre outros). Dentre os benefícios encontrados, pode-se citar o desenvolvimento de melhor ambiente para o crescimento e desenvolvimento radicular, devido ao maior aporte de carbono orgânico e à melhoria da qualidade física, química e biológica do solo. Entretanto, menor desenvolvimento e produtividade das culturas são observados em locais sombreados pelas árvores, principalmente pela menor incidência de luz solar.

Sabe-se que o componente florestal, além de promover sombreamento sobre os componentes agrícola e pecuário, interfere na interceptação, infiltração e no escoamento da água de chuva e, conseqüentemente, no armazenamento da água no solo. Este último, afetado por atributos físicos e químicos do solo e manejo adotado, o que pode submeter os componentes do sistema à déficits hídricos, reduzindo o potencial produtivo do sistema

Dentre os efeitos atribuídos ao déficit hídrico aos componentes do sistema podem ser citados a diminuição da absorção e transporte de nutrientes pelas raízes, menor crescimento e desenvolvimento da planta, em decorrência do fechamento estomático, além de inúmeras alterações fisiológicas e bioquímicas. No entanto, são poucos os trabalhos encontrados na literatura que têm como objetivos compreender como os componentes dos sistemas ILPF interferem na dinâmica da água no solo e na produtividade das culturas.

Com base no exposto, a hipótese do presente estudo é que o componente florestal em sistemas ILPF atua diminuindo a quantidade de água no solo na área entre renques, afetando a produtividade do componente agrícola. Assim, o objetivo do trabalho foi avaliar o efeito do componente florestal nos atributos do solo e na produtividade do componente agrícola em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Cenário agrícola brasileiro

A demanda mundial por água, alimentos e energia vêm se intensificando a cada ano e projeta-se o crescimento da demanda global por energia em 40%, por água em 50% e pela necessidade de expansão da produção de alimentos em 35% até 2030, tendo a agricultura brasileira papel protagonista nesse cenário. A disponibilidade de recursos naturais, políticas públicas, conhecimento técnico-científico e empenho dos produtores brasileiros serão fatores chave para o alcance desses objetivos e desenvolvimento agrícola do país (EMBRAPA, 2018).

A agricultura brasileira tem se tornado cada vez mais eficiente e sustentável. A prova disso foi o salto produtivo ocorrido nas últimas décadas, no qual foi possível obter expressivo aumento de produtividade das culturas sem aumento significativo das áreas cultivadas, apresentando na safra 2018/2019 área cultivada de 62,9 milhões de hectares e produção de 238,9 milhões de toneladas (CONAB, 2019).

Entre as atividades que permitiram tal crescimento, pode-se citar a produção de duas safras por ano em mesma área, sistema de plantio direto (SPD) e adoção de sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA), além do incentivo de políticas públicas, com destaque para o Plano ABC, que incentiva o uso de tecnologias mais sustentáveis, visando a recuperação de áreas degradadas, aumento da produtividade e diversificação do que é produzido (BRASIL, 2012; EMBRAPA, 2018).

Mesmo tendo em vista essa demanda futura por aumento produtivo e sustentabilidade agrícola, ainda há grande quantidade de terras à margem do sistema produtivo de alto rendimento, apresentando alguma forma de degradação, as quais demandam a adoção em larga escala de tecnologias que possibilitem reverter esse quadro (EMBRAPA, 2018).

Sistemas produtivos mais eficientes e sustentáveis têm se tornado as melhores opções para recuperação de áreas degradadas, tornando-se foco de inúmeras pesquisas em organizações públicas, universidades e empresas (BALBINOT JUNIOR et al., 2009; CAIRES; BLUM; BARTH, 2003; FAGERIA, 2000; FERREIRA et al., 2016; LOPES et al., 2004; MARI et al., 2013; MASCARENHAS et al., 1976; PACHECO et al., 2013; PEZZOPANE et al., 2019; SPERA et al., 2009) e dentre estes sistemas e

atividades mais sustentáveis, pode-se enfatizar sistemas de plantio direto (SPD), de integração lavoura-pecuária (ILP) e lavoura-pecuária-floresta (ILPF) (EMBRAPA, 2018).

## 2.2 Sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA)

Com a adoção de políticas públicas para impulsionar o uso de tecnologias que promovam a sustentabilidade agrícola e proteção ambiental, foi aprovada a Política Nacional de Sistemas Integrados de Lavoura-Pecuária-Florestas (LEI Nº 12.805, DE 29 DE ABRIL DE 2013), além de ser criada uma nova unidade da EMBRAPA, na cidade de Sinop, norte do estado de Mato Grosso, a qual dedica-se exclusivamente à pesquisa de sistemas integrados (Embrapa Agrossilvipastoril). Tais políticas fazem parte da Política Nacional de Mudança Climática do país, que define uma meta voluntária de redução de emissões de gases de efeito estufa (BRASIL, 2012).

O termo “Sistema Integrado de Produção Agropecuária - SIPA”, é atribuído à prática de integração dos componentes agrícola, pecuário e florestal, em rotação, consorciação ou sucessão de cultivo, em sistemas que visam a exploração do sinergismo entre os componentes solo-planta-animal-atmosfera (BALBINOT JUNIOR et al., 2009; CARVALHO et al., 2014).

A publicação de Balbino et al. (2011) se tornou referência quando o assunto é SIPA, abordando as características e diferenças entre os sistemas, aos quais são chamados de integração lavoura-pecuária (ILP), lavoura-pecuária-floresta (ILPF), lavoura-floresta (ILF) e pecuária-floresta (IPF). A fim de padronizar a nomenclatura para fins de indexação internacional, Carvalho et al. (2014) sugerem a utilização do termo “Integrated Crop-Livestock System” (ICLS) traduzido como Sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP).

Para a nomenclatura de indexação científica em português, os autores sugerem a utilização do termo “Sistema Integrado de Produção Agropecuária” (SIPA), entretanto, qualquer que seja o termo utilizado, é aconselhado a descrição dos componentes utilizados e seu arranjo nas dimensões espaço e tempo (CARVALHO et al., 2014).

Existe grande versatilidade entre esses sistemas, mostrando-se eficientes na recuperação de áreas degradadas, conservação dos recursos naturais e melhoria da

qualidade dos solos, além de possibilitar intensificação e diversificação produtiva das propriedades (COSTA et al., 2018).

Há relatos de alterações nas dinâmicas dos sistemas, principalmente no ILPF, no qual, apesar de propiciar desenvolvimento de melhor ambiente para o crescimento e desenvolvimento radicular, maior aporte de carbono orgânico e melhoria da qualidade física, química e biológica do solo (COSTA et al., 2015; GIL; SIEBOLD; BERGER, 2015; MENDONÇA et al., 2013; SOUSA NETO et al., 2014), há evidências de menor desenvolvimento e produtividade das culturas agrícolas, em locais sombreados pelas árvores, devido à menor incidência de luz solar e, na proximidade das árvores, por competição pela água do solo (LING et al., 2017; MAGALHÃES et al., 2018b; SOUSA NETO et al., 2014).

### 2.3 Efeitos dos sistemas integrados de produção nos atributos químicos e físicos do solo

Para atender à crescente demanda mundial por alimentos e energia, sem a necessidade de desmatamento de novas áreas, a agricultura brasileira deverá investir pesado na recuperação de áreas degradadas, tornando-as eficientes e produtivas (OLIVEIRA et al., 2019). Estima-se que no Brasil cerca de 70% das áreas de pastagem cultivadas apresentem algum nível de degradação (erosão, infestação de plantas daninhas, baixa produção de forragem, solo exposto e baixa capacidade de lotação animal), o que equivale a aproximadamente 80 milhões de hectares (ZIMMER et al., 2012).

Com seguidos casos de adoção e manejo incorretos do sistema de plantio direto (SPD) e, posteriormente, dos sistemas ILP e ILPF, passou-se a haver problemas de compactação do solo, devido ao não revolvimento do solo, associado ao pisoteio animal, práticas incorretas de manejo, afetando a produtividade das culturas agrícolas, devido à restrição do crescimento radicular e absorção de água e nutrientes (LEÃO et al., 2004).

Todavia, o manejo adequado da lotação animal e intensidade de pastejo não ocasiona, necessariamente, a degradação física do solo. Lanzasova et al. (2007) avaliando áreas cultivadas com e sem o pastejo animal, observaram significativa

diminuição da infiltração de água no solo na área pastejada, porém, essa diferença não se refletiu na produtividade da cultura agrícola.

Souza et al. (2010) avaliando intensidades de pastejo em sistemas ILP, observaram que nas áreas de pastejo moderado, assim como nas áreas sem pastejo, houve melhor estruturação do solo, em comparação com a área com pastejo excessivo. Sendo assim, pode-se enfatizar que o manejo correto de lotação animal e intensidade de pastejo são a chave para a eficiência e sustentabilidade do sistema.

Sistemas como a ILPF, que integram a atividade de agricultura com a inserção de animais e árvores no sistema, passam a promover novas fontes de ciclagem de nutrientes e matéria orgânica, o que se retrata numa vantagem sobre os sistemas não integrados (PARDON et al., 2017).

Flores et al. (2008) avaliando o efeito da aplicação de calcário em sistemas integrados, observaram que o pastejo parece favorecer os efeitos de calagem no perfil do solo. Os autores afirmam que a maior agregação do solo nesses sistemas favorece a movimentação de partículas finas no solo, observando que em áreas não pastejadas a movimentação do calcário no perfil do solo foi de 2,5 cm ano<sup>-1</sup>, enquanto em área pastejada a taxa foi de 7,5 cm ano<sup>-1</sup>.

#### 2.4 Interação entre os componentes do sistema ILPF

A inserção do componente florestal no sistema, além de se tornar mais uma opção de renda para o produtor rural, se torna nova fonte de deposição de resíduos vegetais e ciclagem de nutrientes e se apresenta como objeto que promove melhorias na produção pecuária, resultando em ganho em conforto animal dentro da área (BALBINO et al., 2011).

A integração com árvores tem promovido inúmeras alterações na dinâmica dos sistemas em que é adotada, podendo ser de caráter sinérgicos ou competitivos. Dentre os benefícios encontrados com a adoção do componente florestal no sistema, pode-se citar o maior aporte de carbono orgânico e a melhoria dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo (COSTA et al., 2015; GIL; SIEBOLD; BERGER, 2015; MENDONÇA et al., 2013; SOUSA NETO et al., 2014).

Sousa Neto et al. (2014), entretanto, evidenciam menor desenvolvimento e produtividade das culturas agrícolas em locais sombreados pelas árvores, devido à

menor incidência de luz solar e, Ling et al. (2017) evidenciaram efeitos competitivos entre árvores e a cultura agrícola pela água do solo, resultando em perdas produtivas do componente agrícola.

Reichert et al. (2017) afirmam que além do sombreamento, o componente florestal acaba por interferir em diversos parâmetros hidrológicos do sistema onde é inserido, como interceptação, infiltração e escoamento da água da chuva, controle de processos erosivos e armazenamento de água no solo, o que pode submeter o componente agrícola a déficit hídrico.

Redução da produtividade agrícola foram relatadas em diversos trabalhos (FRANÇA et al., 2013; GAO et al., 2018; LING et al., 2017; MAGALHÃES et al., 2018a; MOREIRA et al., 2018; PEZZOPANE et al., 2019), devido principalmente à competição por luz solar e por água do solo. Entretanto, a intensidade destes efeitos está diretamente relacionada com as espécies utilizadas (FERRAZ; LIMA; RODRIGUES, 2013).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Área de estudo

O estudo foi realizado em uma área da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE) da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, campus de Jaboticabal (FCAV – UNESP Jaboticabal), localizada próxima à latitude 21°13'56" S e à longitude 48°17'19" O.

O clima da região, segundo classificação de Köppen, é do tipo Aw, e tipo B1rA'a', segundo a classificação de Thorhthwaite (ROLIM; APARECIDO, 2016), caracterizado pelo clima mesotérmico, seco de inverno, com temperatura média do mês mais quente superior a 22 °C e do mês mais frio, superior a 18 °C, com precipitação anual média de 1460 mm e maior concentração de chuvas no período de outubro a março.

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico, relevo suave ondulado com aproximadamente 4% de declividade, altitude média de 624 m, valores de 310 g kg<sup>-1</sup>, 20 g kg<sup>-1</sup> e 670 g kg<sup>-1</sup> de argila, silte e areia, respectivamente e capacidade de troca de cátions potencial (pH = 7) de 53,2 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> na camada 0 - 0,20 m do solo.

#### 3.2 Tratamentos

O experimento foi instalado em uma área de 2 hectares dividida em duas áreas de 1 hectare cada, onde foram plantadas, em fevereiro de 2014, mudas de eucalipto em renques de linhas duplas, no sentido Leste-Oeste, espaçados em 20 m. No renque, o espaçamento entre linhas foi de 3 metros e entre plantas de 2 metros, de maneira ocupar aproximadamente 15% da área de um hectare, com densidade aproximada de 435 árvores por hectare.

Em uma das áreas o componente florestal utilizado foi o clone Urograndis I144 (*Eucalyptus grandis* (MAIDEN) W. Hill x *Eucalyptus urophylla* (MAIDEN) W. Hill), caracterizado por rápido crescimento, uniformidade de dossel e raízes laterais superficiais. Na outra área utilizou-se a espécie *Corymbia citriodora* Hill & Johnson

(Citriodora), a qual apresenta menor velocidade de crescimento, sistema radicular pivotante e maior variabilidade de dossel entre as árvores.

A adubação de plantio das árvores foi realizada por meio da aplicação de, aproximadamente, 100 g planta<sup>-1</sup> do fertilizante formulado 4-20-20 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O) na cova de plantio e mais duas adubações de cobertura de, aproximadamente, 100 g planta<sup>-1</sup> do fertilizante formulado 10-10-10 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O), aos 30 e 300 dias após o plantio das mudas, respectivamente.

As áreas entre os renques do componente florestal foram cultivadas com soja no verão e milho consorciado com braquiária (*Urochloa* spp.) no inverno. A cultura da soja foi semeada com espaçamento entre linhas de 0,45 m e a do milho de de 0,9 m. A adubação de semeadura da soja constituiu-se de 0,3 Mg ha<sup>-1</sup> do fertilizante formulado 04-20-20 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O) e a do milho 0,3 Mg ha<sup>-1</sup> do fertilizante formulado 05-25-25 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O). Na cultura do milho foi realizada adubação de cobertura com 0,25 Mg ha<sup>-1</sup> do fertilizante formulado 30-00-10 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O), quando a cultura se encontrava no estágio vegetativo V4.

A braquiária foi semeada anualmente nas entrelinhas do milho e dessecada antes da semeadura da soja. Os demais tratamentos culturais foram realizados de acordo com as respectivas recomendações técnicas para cada cultura, segundo Raij et al. (1996). O componente pecuário entrou no sistema após a colheita da terceira safra de milho.

Dados climatológicos do período de janeiro de 2014 a julho de 2019 foram obtidos na estação agroclimática da FCAV/UNESP, Campus de Jaboticabal, localizada a aproximadamente 1000 m da área experimental. O balanço hídrico do solo para os anos de 2014 a 2019 é apresentado na figura 1.

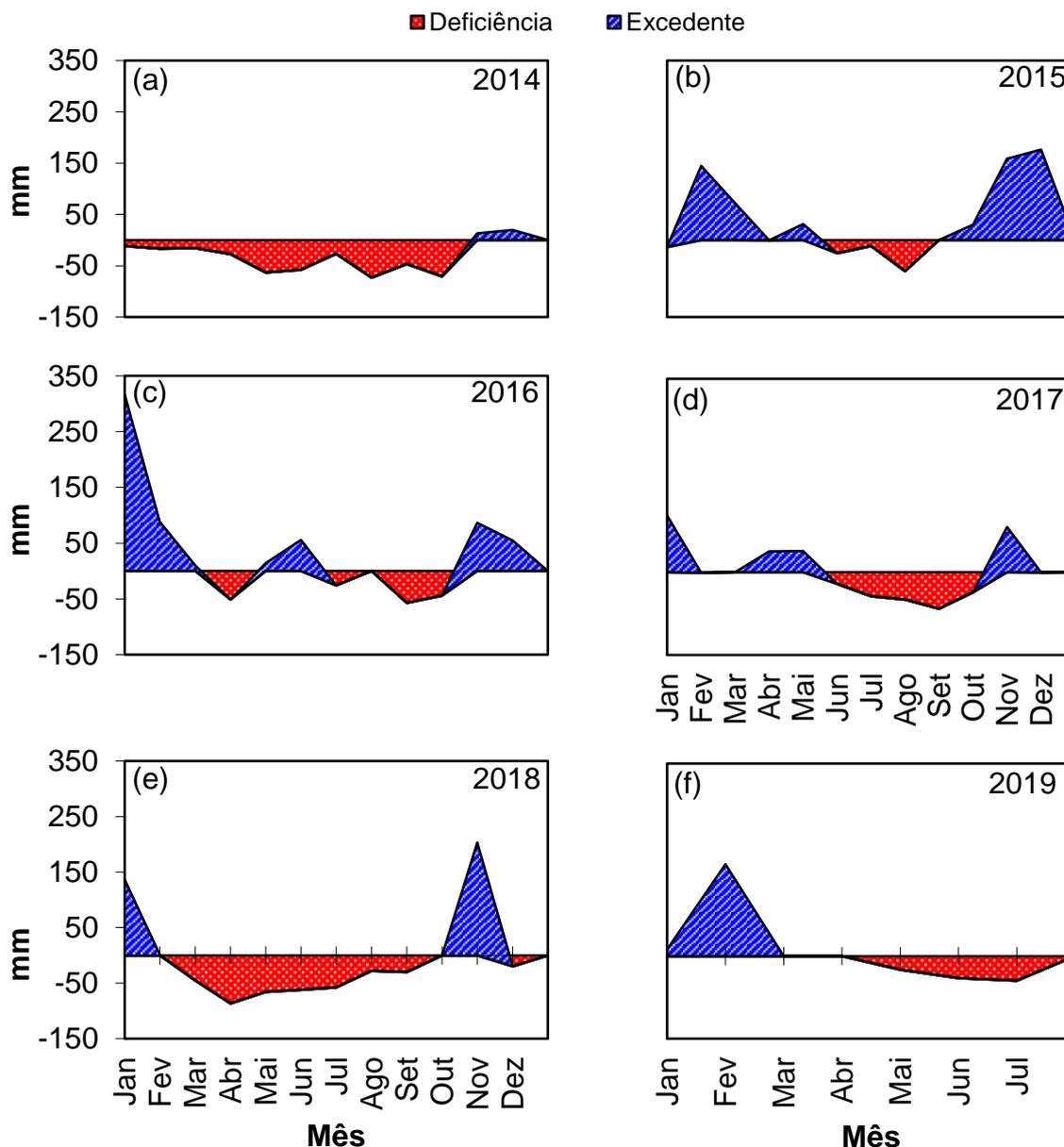


Figura 1. Balanço hídrico do solo para os anos de 2014 a 2019 (“a” a “f” respectivamente).

### 3.3 Coleta e análise de dados

Em cada sistema ILPF, foram definidas cinco locais entre os renques, transversalmente às linhas de eucaliptos, onde foram realizadas amostragem de solo, planta, como apresentado na figura 2, sendo a posição 1 a mais próxima do componente florestal ao lado norte da área entre renques e a posição 7 a mais próxima do componente florestal ao lado sul (Figura 2).

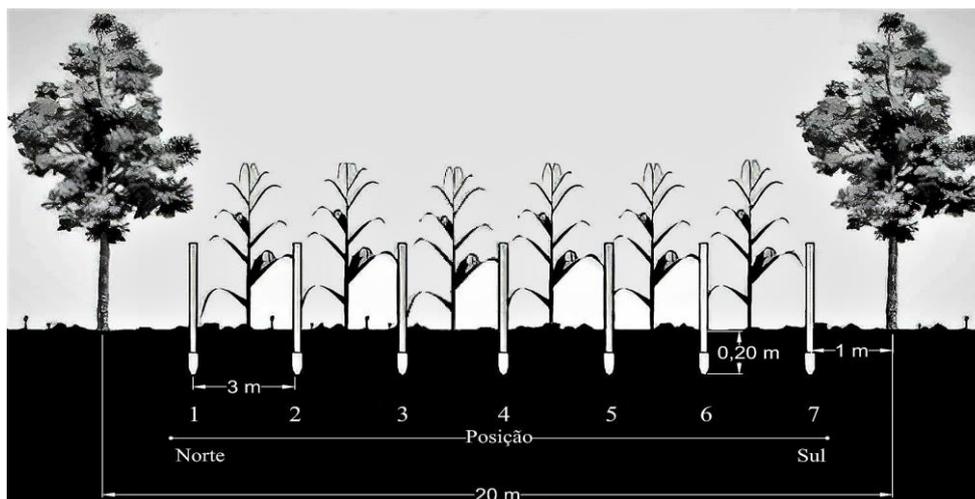


Figura 2. Esquema ilustrativo mostrando os pontos de coleta de dados de solo e planta.

A umidade do solo foi medida, por meio do uso de tensiômetros, instalados a 0,20 m de profundidade, equidistantes 3 metros (Figura 2), nos quais foram medidos os valores de tensão de água no solo a cada 2 dias, num período de 85 dias, durante parte do ciclo do milho no ano de 2017 (quarto ano da instalação do experimento). A precipitação e temperatura média, durante o monitoramento diário da umidade do solo, é apresentado na figura 3.

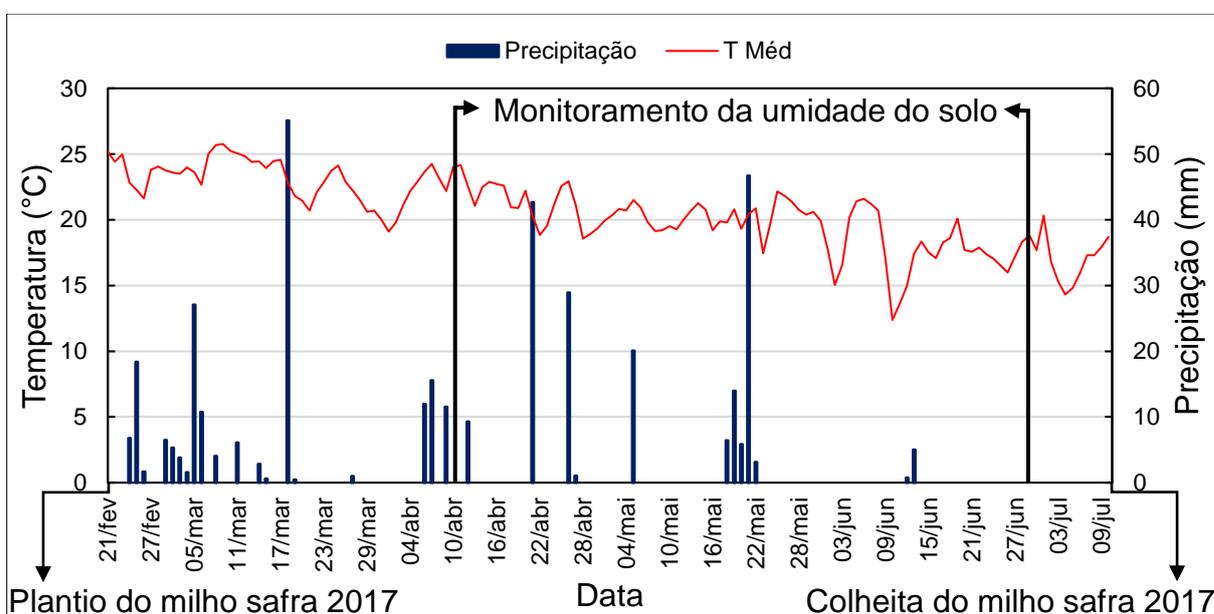


Figura 3. Valores diários de temperatura média e precipitação pluviométrica, durante monitoramento da umidade do solo, na cultura do milho segunda safra do ano de 2017.

No período de monitoramento da umidade do solo, as árvores do sistema com eucalipto *Urograndis* encontravam-se com aproximadamente 16 metros de altura e 15,5 cm de diâmetro à altura do peito (DAP) e as árvores do sistema com a espécie *Citriodora*, com aproximadamente 10 metros de altura e 9,5 cm de DAP.

A produtividade das culturas agrícolas foi medida nos anos agrícolas de 2014, 2015, 2016, 2017 e 2019, para a cultura do milho segunda safra e, nos anos agrícolas de 2017/2018 e 2018/2019, para a cultura da soja primeira safra. A cultura do milho não foi colhida no ano de 2018 devido a severo período de ausência de chuvas, o que resultou na perda total da produção neste ano.

Para determinação da produtividade das culturas agrícolas colheu-se parcelas de 5 linhas x 5 metros de soja e de 3 linhas x 5 metros de milho. As plantas foram colhidas manualmente e encaminhadas para uma trilhadora mecânica. Os valores de produtividade foram corrigidos para 13% de umidade dos grãos.

Em novembro de 2017 foram coletadas amostras deformadas e indeformadas de solo na camada 0 – 0,20 m, nas mesmas posições onde foram instalados os tensiômetros. Em cada amostra foram determinados os teores de fósforo lábil, potássio trocável, valores de saturação por bases (CAMARGO et al., 2009) e determinação da curva de retenção de água no solo (CRA) de acordo com a metodologia descrita por Silva et al. (1994).

Para conversão dos valores de tensão de água no solo, obtidos por meio dos tensiômetros, em valores de umidade do solo, fez-se o ajuste da CRA utilizando o modelo proposto por van Genuchten (1980), conforme equação 1.

$$\Theta = 0.128 + \frac{(0.322 + 0.128)}{[(1 + 0.015\Psi)^{1.334}]^{0.251}} \quad (1)$$

em que  $\Theta$  corresponde ao conteúdo volumétrico de água no solo ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) e  $\Psi$  correspondente ao potencial mátrico do solo (cca).

### 3.4 Análises estatísticas

Análises exploratórias multivariadas de agrupamento não hierárquico e de componentes principais (ACP) foram utilizadas para avaliar a relação existente entre

as variáveis climáticas e a umidade do solo e o efeito do componente florestal na umidade do solo, respeitando a estrutura de dependência contida no conjunto original das variáveis. As variáveis foram padronizadas (média 0 e variância 1), sendo utilizado o critério de kaiser que considera relevante os autovetores gerados com autovalores superiores a 1 (HAIR et al., 2007).

Os atributos do solo e de produtividade das culturas agrícolas foram analisados por meio da técnica de bootstrap, por serem variáveis independentes e não paramétricas (EFRON; TIBSHIRANI, 1994; MELO FILHO et al., 2002). O método chamado de bootstrap não paramétrico consiste em reamostragens aleatórias dos valores das variáveis no conjunto original de dados, reposicionando os novos valores de forma a compor um novo conjunto de dados com 1000 valores, sendo assim possível estimar valores como média, variância, intervalo de confiança (5% de probabilidade), entre outros (CHRISTIE, 2004; EFRON; TIBSHIRANI, 1994). Todas as análises foram realizadas por meio do software IBM SPSS Inc. (2016) versão gratuita.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Umidade do solo

Maiores valores de umidade foram observados no solo sob o sistema com eucalipto Citriodora, independentemente da posição (Figura 4). Em ambos os sistemas, menores valores de umidade do solo foram observados na proximidade do componente florestal, entretanto, maior diferença na umidade do solo foi observada no sistema com a espécie Urograndis.

Atribui-se esta diferença entre os sistemas ao maior consumo da água do solo pelas plantas de Urograndis, o que se justifica pelas suas características morfológicas específicas, como sistema radicular superficial, maior dossel e desenvolvimento mais rápido, comparação com o Citriodora.

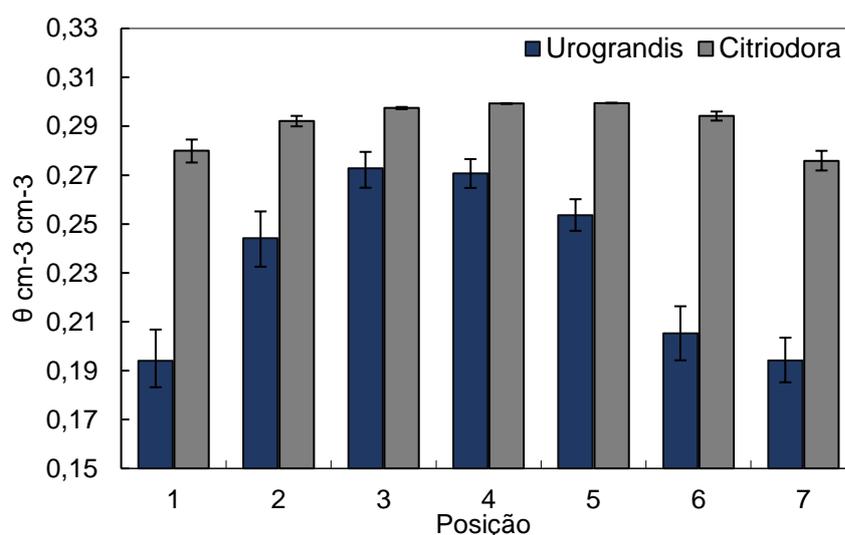


Figura 4. Umidade volumétrica média do solo ( $\theta$ ), durante parte do ciclo do milho ano 2017, na camada 0 0,20 m, em Latossolo Vermelho distrófico, sob sistemas ILPF. Posição 1 a mais próxima do componente florestal do lado norte da área entre renques e posição 7, a mais próxima do componente florestal do lado sul. Médias nas quais as barras de erro se sobrepõem não apresentam diferença significativa a 5% de probabilidade.

Reichert et al. (2017) afirmam que diferentes espécies podem interferir de distintas maneiras na dinâmica da água do solo no sistema onde são inseridas e Ling et al. (2017) relatam maior competição por água do solo, entre diferentes espécies consorciadas, na proximidade do componente florestal.

Elegeu-se três centroides na análise exploratória de agrupamento (Figuras 5a e 5b). O primeiro representou os dias com valores intermediários de umidade do solo,

o segundo com os menores valores umidade e o terceiro, os dias com maiores valores de umidade do solo.

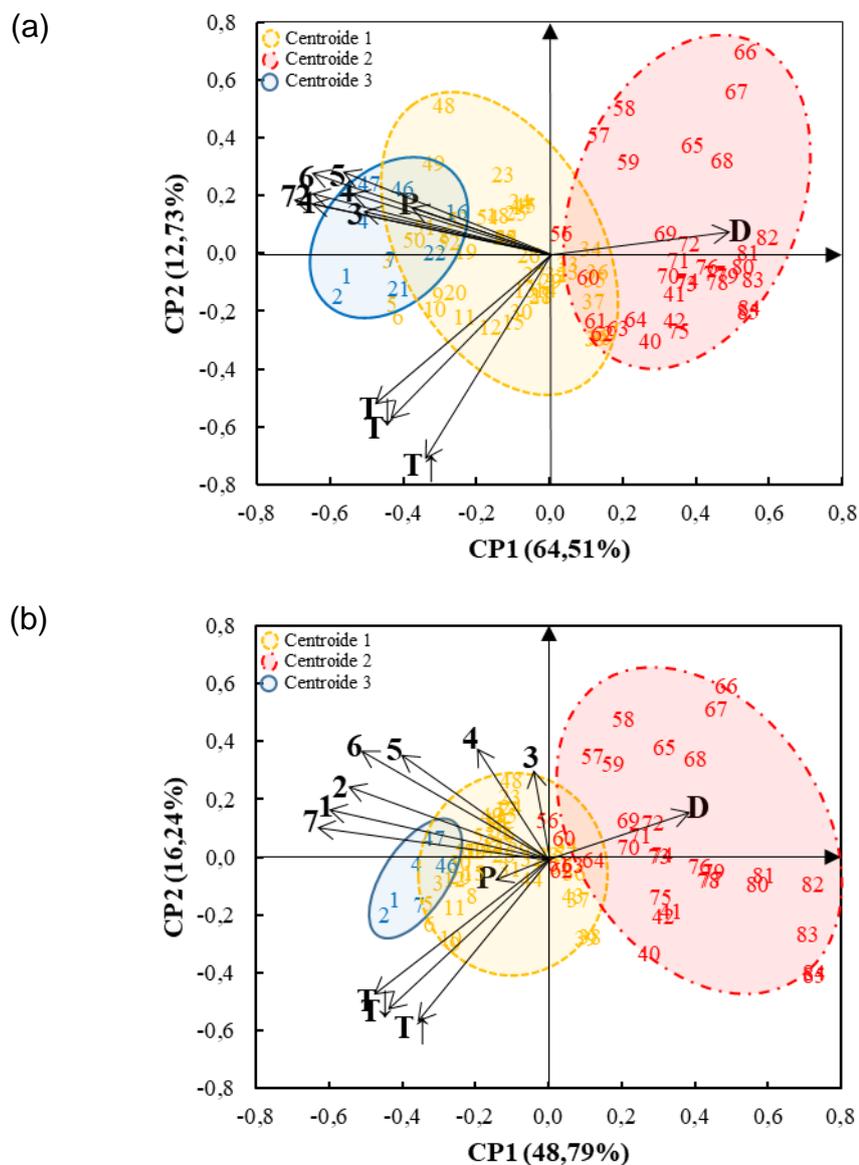


Figura 5. Gráficos biplot da análise de componentes principais para sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta utilizando eucalipto *Urograndis* (a) e *Citriodora* (b) em Latossolo Vermelho distrófico. Os atributos representados são: Umidade do solo (números 1 a 7 das variáveis, representando as posições onde foi medida a umidade do solo, na camada 0 0,20 m, sendo a posição 1 a mais próxima do componente florestal ao lado norte da área entre renques e posição 7, a mais próxima do componente florestal ao lado sul.); parâmetros climáticos (P: precipitação pluviométrica, D: número de dias sem chuvas,  $T_{\uparrow}$ ,  $T_{\downarrow}$  e  $T$ : temperatura máxima, mínima e média, respectivamente); dias de monitoramento da umidade do solo (números 1 a 85 no gráfico).

Os dois primeiros componentes principais (CPs) explicaram mais de 75% da variabilidade dos dados no sistema ILPF com o eucalipto *Urograndis* (Figura 5a) e, mais de 65% no sistema com a espécie *Citriodora* (Figura 5b), indicando neste último haver maior variabilidade no conjunto de dados de umidade do solo e nos parâmetros climáticos, que na umidade do solo interferem.

Bayat et al. (2013) evidenciam que a seleção de componentes principais pode explicar a maior fonte de variação dentro das variáveis originais, selecionando apenas aquelas com informação relevante. Neste trabalho, por meio da ACP, pôde-se verificar que a umidade do solo apresentou diferentes estruturas de dependência com os atributos climáticos em cada um dos sistemas.

Observa-se que os números 1 a 7 (representando a umidade do solo) na figura 5a, encontram-se agrupadas, indicando que a umidade do solo, no sistema com eucalipto *Urograndis*, varia de forma homogênea, em todas as posições, apesar da maior variação entre as posições (Figura 4). Na figura 5b observa-se que os números 1 a 7 não encontram-se agrupados, indicando que, apesar da umidade do solo apresentar menor variação (Figura 4), não varia da mesma forma em todas as posições, sendo a umidade do solo nas posições centrais (3, 4 e 5) menos dependentes da precipitação e do número de dias sem chuva.

Atribui-se maiores valores de umidade do solo nas posições centrais da área entre renques à menor absorção de água pelo sistema radicular do componente florestal. Pezzopane et al. (2019) estudando um sistema ILPF no estado de São Paulo, demonstraram, por meio de ACP, menor produtividade do milho e de forragem nas regiões mais próximas do componente florestal, atribuindo este resultado à competição por água e luz nessas posições.

A avaliação temporal da umidade do solo (Figura 6) mostrou que, além de haver influência das árvores de *Urograndis*, na umidade do solo em toda a área entre renques, nesse sistema, foram observados os menores valores de umidade do solo, chegando próximo a 14% de umidade.

Isto demonstra que a periodicidade e volume de chuvas, nem sempre são suficientes para atender o requerimento hídrico das culturas agrícolas em sistemas onde ocorre elevada competição por água do solo entre componentes, podendo acarretar perdas na produtividade do componente agrícola.

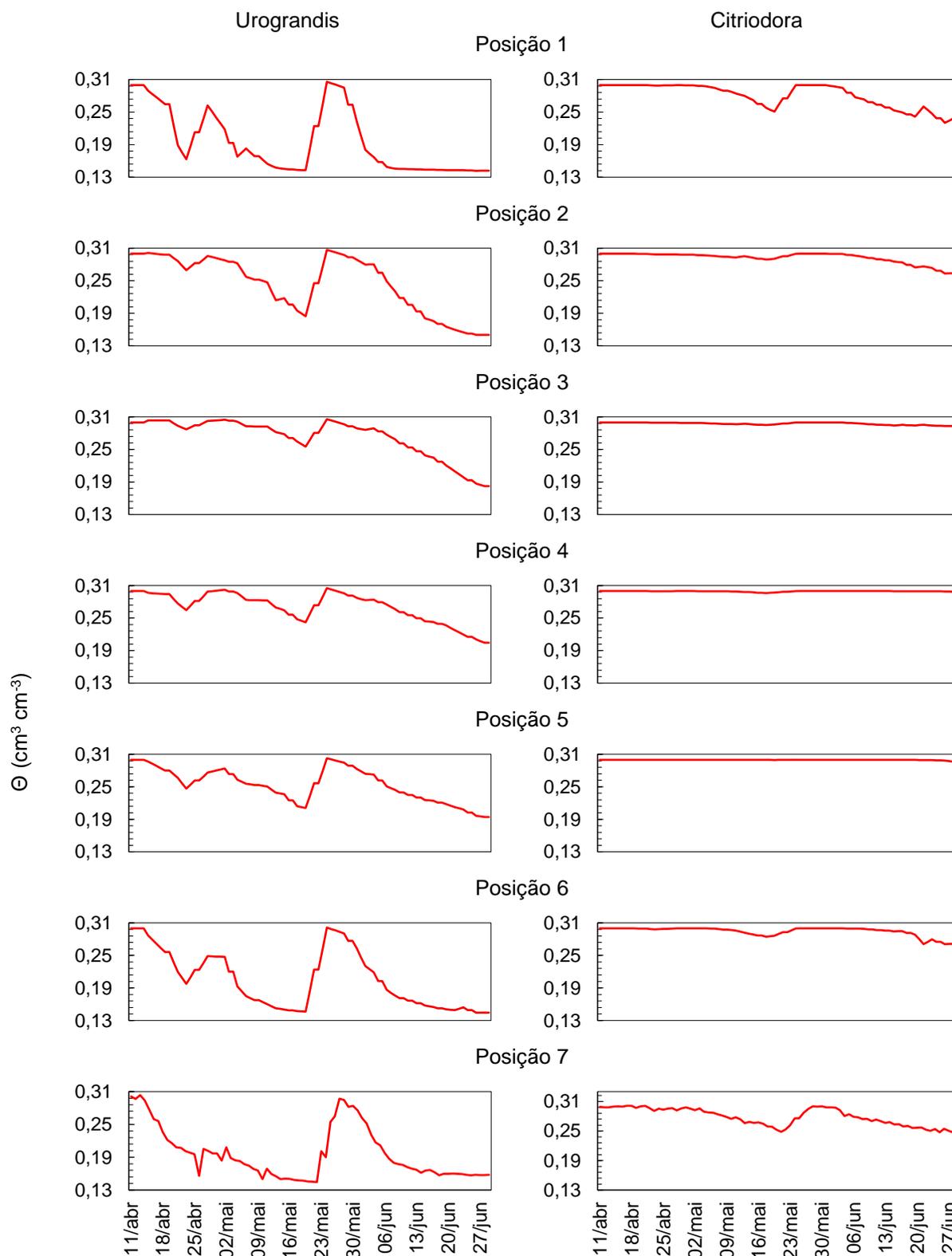


Figura 6. Valores diários de umidade volumétrica do solo, sob sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta, utilizando eucalipto Urograndis (esquerda) e Citriodora (direita), em Latossolo Vermelho distrófico. Posição 1 a mais próxima do componente florestal ao lado norte da área entre renques e posição 7, a mais próxima do componente florestal ao lado sul.

Observou-se maior volume de água no solo sob o sistema com eucalipto Citriodora, em comparação com o sistema com o eucalipto Urograndis. No sistema com Citriodora, a umidade do solo foi maior em todas as posições, independentemente do período sem chuva e da distância das árvores.

No solo sob o sistema com eucalipto Citriodora, o volume de água somente diminuiu na proximidade do componente florestal, já nos locais mais distantes das árvores, a umidade do solo pouco variou, mantendo-se próxima à capacidade de campo. Os menores valores de umidade do solo observados nesse sistema foram de aproximadamente 23%, valor 9% maior que o mínimo observado no sistema com eucalipto Urograndis.

Atribui-se que a maior competição pela água do solo no sistema com Urograndis, demonstrada nesse trabalho, esteja relacionada com o sistema radicular superficial lateral e maior tamanho de dossel, quando comparado com as árvores do eucalipto Citriodora, devido ao fato de que o consumo de água do solo aumenta com o aumento da idade das árvores, do dossel e do índice de área foliar.

Sendo assim, espécies florestais e práticas de manejo que promovam a conservação da água do solo devem ser adotadas, como por exemplo, o uso preferencial do eucalipto Citriodora, que exerce menor efeito competitivo por água e luz com o componente agrícola.

#### 4.2 Atributos químicos

Por meio da análise química do solo, da área entre renques, observa-se que a diferença nos valores de produtividade não está correlacionada com possíveis deficiências de nutrientes no solo. Os teores de fósforo lábil (Figura 7a) encontram-se acima do nível crítico,  $15 \text{ mg dm}^{-3}$ , para a produção de culturas agrícolas anuais (RAIJ et al., 1997).

Os teores de potássio (K) (Figura 7b) são considerados baixos (RAIJ et al., 1997) em todas as posições do sistema com eucalipto Citriodora, podendo este resultado estar atribuído à exportação deste elemento pelos grãos colhidos, uma vez que a produtividade das culturas agrícolas foi maior nesse sistema.

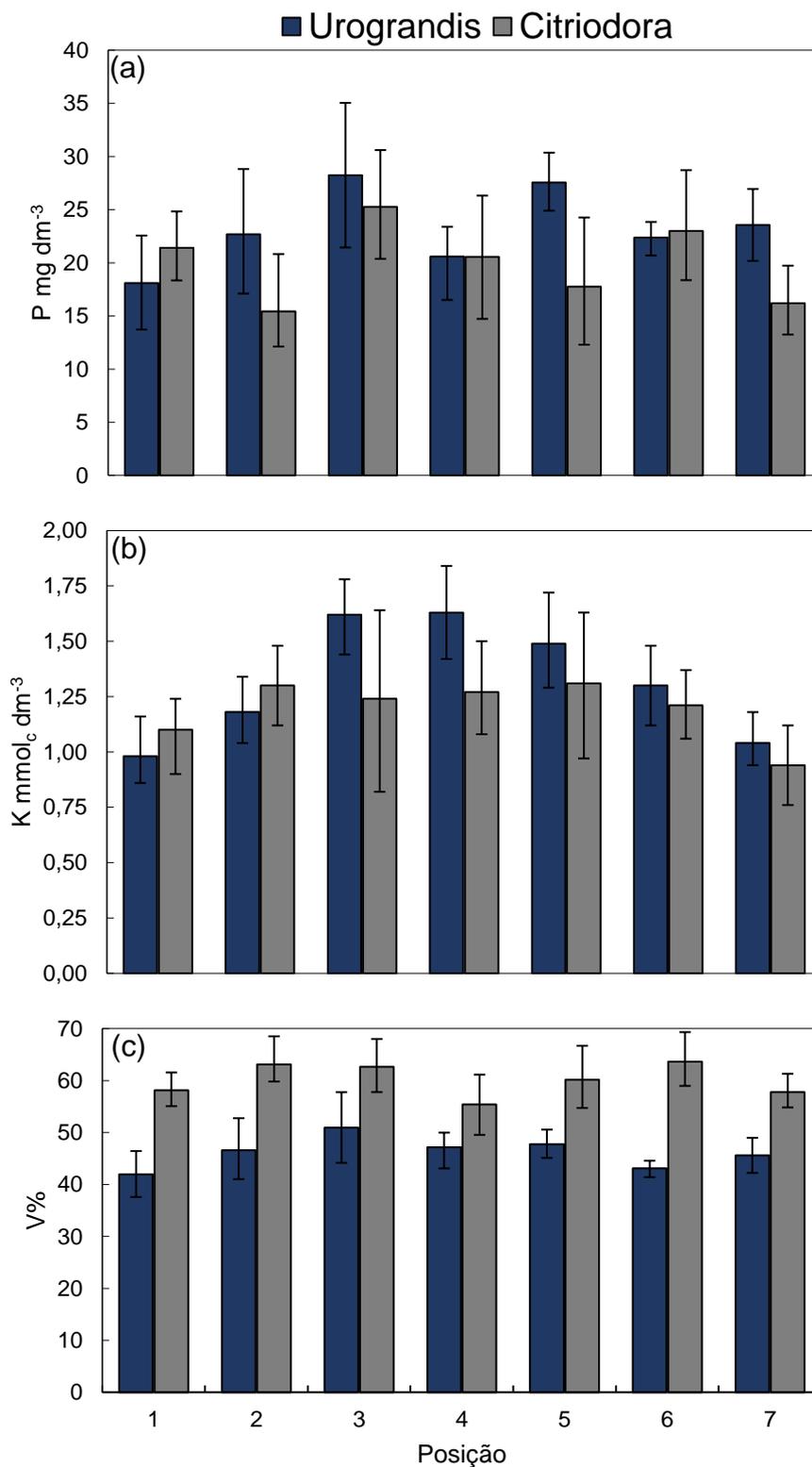


Figura 7. Teores de fósforo lábil (P), Potássio trocável (K) e valores de saturação por bases (V%), na camada 0 0,20 m, em Latossolo Vermelho distrófico, sob sistemas ILPF, amostrados em novembro de 2017. Posição 1 a mais próxima do componente florestal ao lado norte da área entre renques e posição 7, a mais próxima do componente florestal ao lado sul. Médias quais as barras de erro se sobrepõem não apresentam diferença significativa (5% de probabilidade).

Com aproximadamente quatro anos de instalação dos sistemas, observou-se tendência de aumento dos teores de K, nas posições centrais da área entre renques, no sistema com Urograndis, podendo este efeito estar ligado à maior deposição de folhas das árvores e ciclagem do elemento (Maciel et al., 2011; Magalhães et al., 2018).

Os valores de saturação por bases do solo (Figura 7c) foram menores em todas os locais de amostragem entre renques sob sistema com eucalipto Urograndis em comparação ao sistema contendo Citriodora. O fato pode estar associado à distribuição lateral e superficial do sistema radicular do eucalipto Urograndis, que juntamente com a água, absorve também os nutrientes do solo em toda a faixa entre renques, corroborando com Rocha et al. (2019) que afirmam que a planta de eucalipto é acumuladora de grandes quantidades de cálcio e magnésio e seus acúmulos são proporcionais ao acúmulo de biomassa da planta

Pardon et al. (2017), avaliando sistemas agroflorestais em clima temperado, afirmam que o componente florestal não influencia significativamente no conteúdo de matéria orgânica nem na disponibilidade de nutrientes no solo da área entre renques, em período inferior a 3 anos. Neste trabalho, ao quarto ano de cultivo, observou-se influência do componente florestal nos atributos químicos do solo, principalmente K e V%.

#### 4.3 Produtividade das culturas agrícolas

Com exceção das posições 3 e 6, não se observou diferença produtiva entre os sistemas ILPF (Figura 8a). Entretanto, observa-se produtividade similar entre as posições e entre sistemas, resultado atribuído ao pequeno porte das árvores em seu primeiro ano, não exercendo efeito competitivo, por água e luz, com a cultura agrícola nesse período. Em trabalhos encontrados na literatura também observou-se não ocorrer diferença significativa na produção do milho, cultivado em sistemas ILPF, no primeiro ano de cultivo (MAGALHÃES et al., 2018a; MOREIRA et al., 2018; PEZZOPANE et al., 2019).

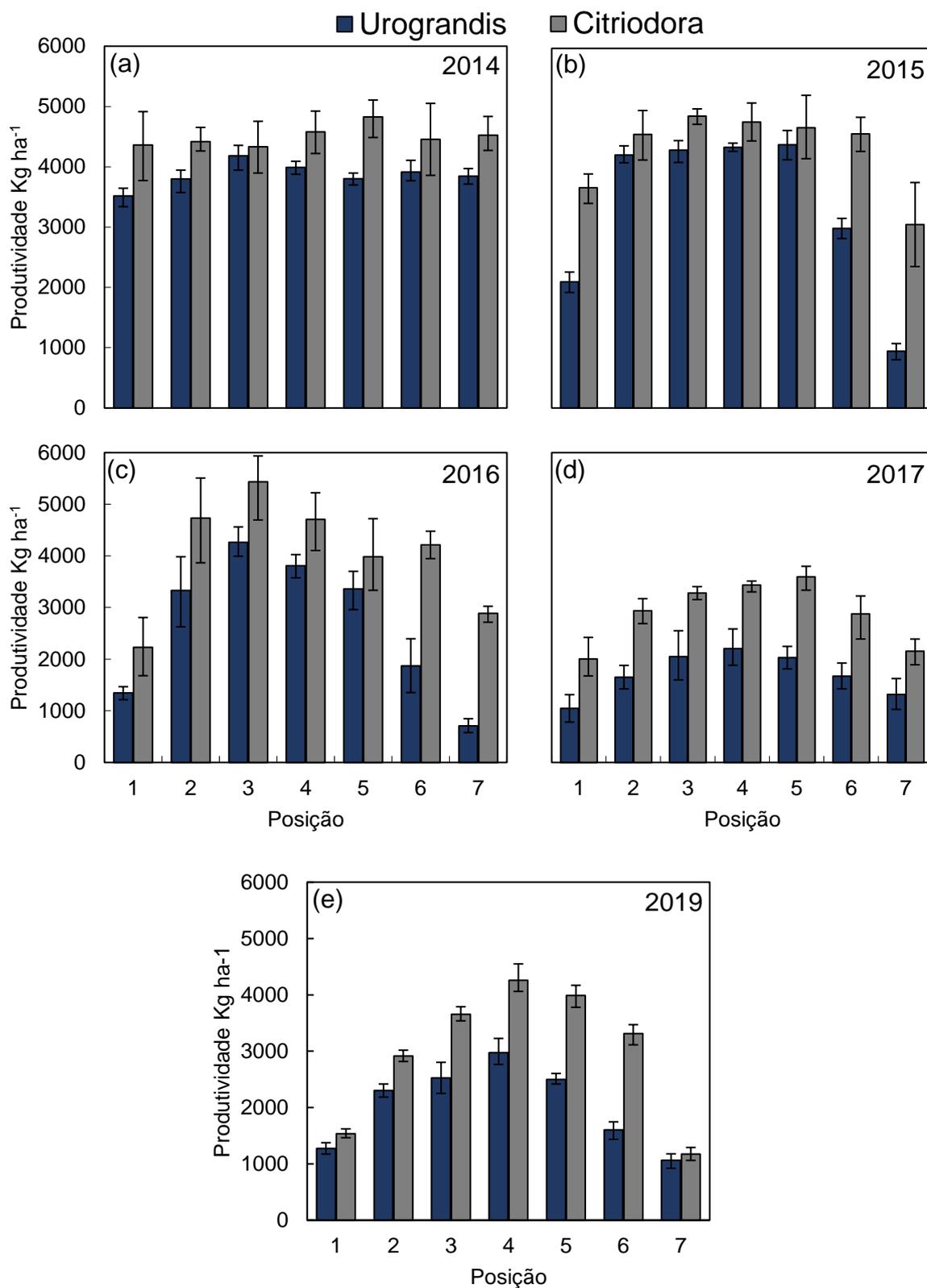


Figura 8. Produtividade do milho segunda safra, sob sistemas ILPF, ano de 2014 a 2019 (“a” a “e” respectivamente). Posição 1 a mais próxima do componente florestal ao lado norte da área entre renques e posição 7, a mais próxima do componente florestal ao lado sul. Médias quais as barras de erro se sobrepõem não apresentam diferença significativa (5% de probabilidade).

No segundo ano de cultivo do milho (Figura 8b), ano de 2015, pôde-se observar diferença nos valores de produtividade, porém, somente nas posições mais próximas ao componente florestal o que pode ser resultado do início dos efeitos competitivos entre os componentes do sistema. A partir do segundo ano de cultivo, observa-se menores valores de produtividade do milho no sistema com eucalipto *Urograndis*, independentemente da posição (Figuras 8c, 8d e 8e), sempre com menores produtividades nas posições mais próximas das árvores.

Moreira et al. (2018) avaliando a produtividade da cultura do milho, em sistemas com e sem a integração do componente florestal, no estado do Mato Grosso, observaram perdas produtivas já no segundo ano de cultivo do milho em sistemas ILPF. Entretanto, Magalhães et al. (2018), avaliando sistemas ILPF no estado de Minas Gerais, somente observaram perda produtiva do milho a partir do terceiro ano de cultivo, indicando que o sistema é extremamente dependentes das condições locais de onde é instalado, ou do tipo de espécies que são utilizadas, como no caso deste trabalho.

Ling et al. (2017) afirmam que o efeito da competição por água e nutrientes do solo, entre componentes cultivados em sistemas integrados, é maior em ambientes sob déficit hídrico. O milho segunda safra é, normalmente, cultivado em período de menor disponibilidade hídrica (Figuras 1a a 1f), o que agrava o efeito negativo da competição entre os componentes, resultando em menor produtividade quanto maior for a competição.

No ano agrícola de 2019 (Figura 8e) o mesmo efeito supressivo foi observado na produtividade do milho. A produtividade máxima alcançada foi de aproximadamente 4.200 kg ha<sup>-1</sup> e 3.000 kg ha<sup>-1</sup>, na posição central (posição 4) da área entre renques, no sistema com eucalipto *Citriodora* e com eucalipto *Urograndis*, respectivamente e de, aproximadamente, 1.000. kg ha<sup>-1</sup> nas posições mais próximas ao componente florestal (posições 1 e 7), em ambos os sistemas.

Pode-se observar que em ambos os sistemas ILPF as menores produtividades do milho foram obtidas nas posições próximas ao componente florestal e que este efeito supressivo foi adentrando à faixa entre renques com o passar dos anos, sendo este efeito resultante da intensa e crescente competição nesses locais.

A produtividade da soja cultivada nas safras de 2017/2018 (Figura 9a) e 2018/2019 (Figura 9b), quarto e quinto ano de sistema, respectivamente, não

apresentou diferença entre os sistemas, porém, em ambos, se observou redução da produtividade nas posições próximas ao componente florestal (posições 1, 2, 7 e 8), diminuindo cerca de 35% na safra de 2017/2018 e 44% na safra de 2018/2019, em relação à produtividade observada nas posições centrais da área entre renques.

Assim como observado neste trabalho, França et al. (2013), avaliando a produtividade da soja, em sistemas ILP e ILPF, em Mato Grosso do Sul, observaram redução de 47% na produtividade da soja ao longo da faixa entre renques, em sistema ILPF, e de até 58% se comparado ao sistema sem eucalipto (ILP).

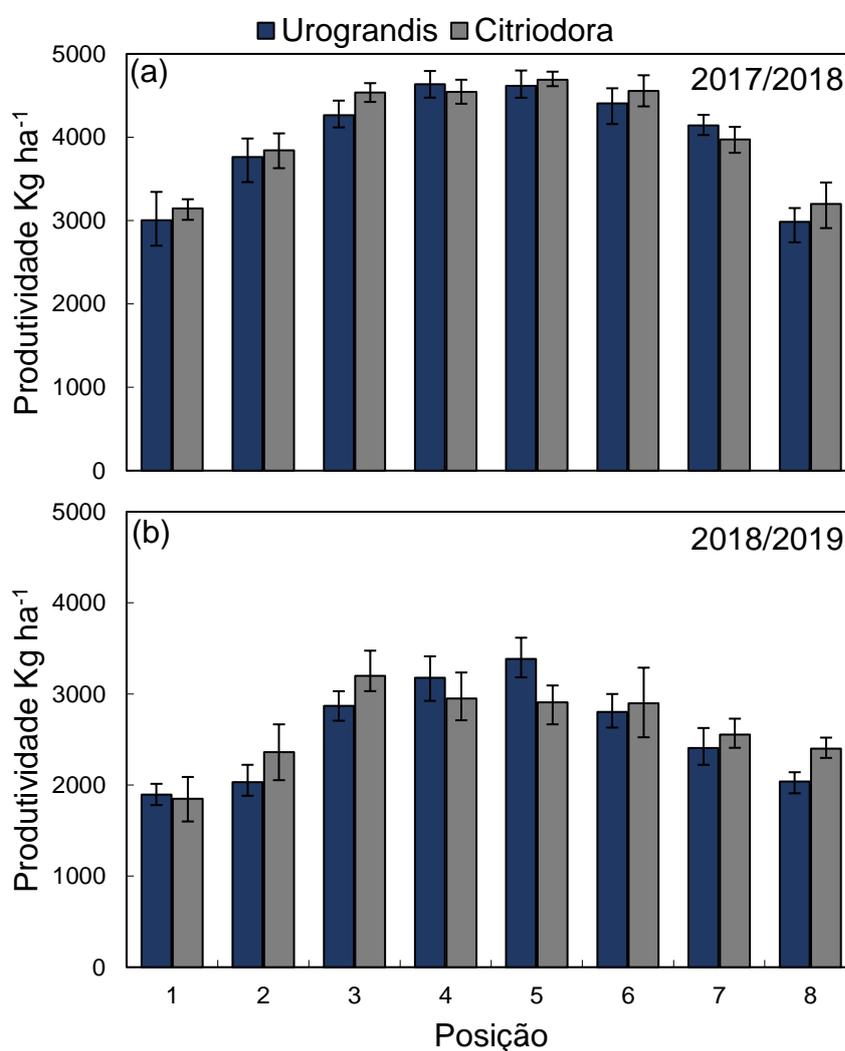


Figura 9. Produtividade da soja, sob sistemas ILPF, ano agrícola 2017/2018 (“a”) e 2018/2019 (“b”). Posição 1 a mais próxima do componente florestal ao lado norte da área entre renques e posição 7, a mais próxima do componente florestal ao lado sul. Médias quais as barras de erro se sobrepõem não apresentam diferença significativa (5% de probabilidade).

Atribui-se a semelhança da produtividade da soja entre os sistemas ao fato desta cultura ser cultivada em período de maior disponibilidade hídrica (Figuras 1a a 1f). Porém, nas regiões próximas às árvores, independentemente do sistema ILPF, nota-se efeito da competição entre os componentes do sistema.

Pezzopane et al. (2019) afirmam que, em sistemas ILPF, o dano causado pela falta de água é mais prejudicial para a produtividade da cultura agrícola que a perda devida ao sombreamento. Gao et al. (2018) e Ling et al. (2017) avaliando um sistema agroflorestal na china observaram que quanto mais próxima a cultura agrícola estiver do componente florestal maior é a tendência a ocorrer competição, ocorrendo mesmo em ambientes relativamente úmidos, resultado este, similar ao observado neste trabalho, no qual a produtividade da soja foi mais prejudicada quando esta cultivada mais próxima do componente florestal.

Sabendo-se da perda produtiva do sistema agrícola ocasionada devido à competição pelos fatores de produção, água e luz principalmente, entre os componentes do sistema, deve-se adotar estratégias de manejo que visem a obtenção de melhores produtividades, sustentabilidade e longevidade do sistema.

Para isso, estudos de longo prazo são importantes para que se possam desenvolver estratégias de manejo que sejam sustentáveis e adequadas à realidade dos produtores rurais, que venham a gerar novas fontes de renda ao produtor além de proteger e melhorar a qualidade dos solos cultivados (BALBINO et al., 2011; NIE et al., 2016).

De acordo com os resultados obtidos neste trabalho, pode-se recomendar a adoção de algumas estratégias de manejo para viabilizar a sustentabilidade do sistema a longo prazo.

Dar preferência a espécies florestais que tenham sistema radicular profundo, ao invés de superficial e lateral, como por exemplo o eucalipto Citriodora.

Se o objetivo do produtor for priorizar a produtividade do componente agrícola, pode-se adotar maior distância de plantio entre renques do sistema florestal, na faixa de 40 a 60 metros, adaptando-se ao tamanho dos maquinários disponíveis na propriedade

Smethurst et al., (2017) avaliando o efeito da integração com árvores na produtividade das culturas agrícolas em sistemas agroflorestais no Quênia e no Malawy constataram que as árvores competem com as culturas por água e nutrientes,

podendo reduzir a produtividade do componente agrícola e limitar sua área de inserção no sistema. Sendo assim, a fim de se evitar danos econômicos ao produtor, a partir do segundo ano de cultivo, recomenda-se efetuar o plantio do componente agrícola à distância de pelo menos 5 metros das linhas das árvores, pois nesta localidade o efeito supressivo na produtividade da cultura agrícola é maior, podendo esta faixa ser cultivada com pastagem permanente.

Se o objetivo do produtor for priorizar o cultivo florestal e produção animal, pode-se adotar distanciamento entre renques do componente florestal na faixa de 20 a 30 metros, porém, aconselha-se a renunciar ao cultivo do milho de segunda safra fazendo sua substituição pelo cultivo da pastagem e inserção do componente animal.

## 5. CONCLUSÕES

O componente florestal em sistemas ILPF diminui a quantidade de água no solo na área entre renques, afetando negativamente a produtividade do componente agrícola.

O eucalipto *Urograndis* exerce maior efeito competitivo pela água do solo que o eucalipto *Citriodora*, resultando em maior efeito supressivo à produtividade do componente agrícola em sistema ILPF.

O componente agrícola, cultivado na entressafra em período de menor disponibilidade hídrica, é afetado pelo componente florestal com maior intensidade pela competição por água do solo.

## 6. REFERÊNCIAS

BALBINO, L. C. et al. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1–12, out. 2011.

BALBINOT JUNIOR, A. A. et al. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. **Ciência Rural**, v. 39, n. ISSN0103-8478, p. 1925–1933, 2009.

BAYAT, H. et al. Improving water content estimations using penetration resistance and principal component analysis. **Soil and Tillage Research**, v. 129, p. 83–92, 2013.

BRASIL. **Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura: plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono)**. Brasília: [s.n.]. Disponível em: <[www.agricultura.gov.br](http://www.agricultura.gov.br)>. Acesso em: 12 jun. 2019.

CAIRES, E.; BLUM, J.; BARTH, G. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 1, p. 275–286, 2003.

CAMARGO, O. A. DE et al. Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agrônomo de Campinas. 2009.

CARVALHO, P. C. DE F. et al. Definições e terminologias para Sistema Integrado de Produção Agropecuária. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 5, p. 1040–1046, 2014.

CHRISTIE, D. Resampling with Excel. **Teaching Statistics**, v. 26, n. 1, p. 9–14, 1 fev. 2004.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira - grãos. SAFRA 2018/19 - N. 9 - Nono levantamento**. Brasília: [s.n.].

COSTA, M. P. et al. A socio-eco-efficiency analysis of integrated and non-integrated crop-livestock-forestry systems in the Brazilian Cerrado based on LCA. **Journal of Cleaner Production**, v. 171, p. 1460–1471, 2018.

COSTA, N. R. et al. Atributos do Solo e Acúmulo de Carbono na Integração Lavoura-Pecuária em Sistema Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 3, p. 852–863, jun. 2015.

EFRON, B.; TIBSHIRANI, R. **An introduction to the bootstrap**. [s.l.] Chapman & Hall, 1994.

EMBRAPA. **Visão 2030 - Futuro da Agricultura Brasileira**. Brasília: [s.n.].

EMBRAPA. **ILPF : inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta**. 1. ed. Brasília: 2019.

FAGERIA, N. K. Resposta de arroz de terras altas à correção de acidez em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 35, n. 11, p. 2303–2307, 2000.

FERRAZ, S. F. B.; LIMA, W. DE P.; RODRIGUES, C. B. Managing forest plantation landscapes for water conservation. **Forest Ecology and Management**, v. 301, n. April 2018, p. 58–66, 2013.

FERREIRA, A. DE O. et al. Can no-till grain production restore soil organic carbon to levels natural grass in a subtropical Oxisol? **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 229, p. 13–20, 2016.

FLORES, J. P. C. et al. Atributos químicos do solo em função da aplicação superficial de calcário em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a pressões de pastejo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 4, p. 2385–2396, 2008.

FRANÇA, A. N. et al. **Índice de produtividade da lavoura de soja consorciada com eucalipto em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta. Sistemas Agroflorestais e Desenvolvimento Sustentável: 10 anos de Pesquisa**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/980058/1/INDICEDEPRODUTIVIDADEDALAVOURADESOJA...pdf>>. Acesso em: 8 abr. 2019.

GAO, X. et al. Extreme natural drought enhances interspecific facilitation in semiarid agroforestry systems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 265, n. April, p. 444–453, 2018.

GIL, J.; SIEBOLD, M.; BERGER, T. Adoption and development of integrated crop-livestock-forestry systems in Mato Grosso, Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 199, p. 394–406, 2015.

HAIR, J. F. et al. **Análise multivariada de dados**. Bookman, 2007.

IBM SPSS INC. SPSS Statistics for Windows. **IBM Corp. Released 2012**, 2016.

LANZANOVA, M. E. et al. Soil physical attributes in integrated cattle raising-crop production system under no-tillage | Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 31, n. 5, p. 1131–1140, out. 2007.

LEÃO, T. P. et al. **Intervalo hídrico ótimo na avaliação de sistemas de pastejo contínuo e rotacionado** *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, 2004.

LING, Q. et al. Soil water effects of agroforestry in rainfed jujube (*Ziziphus jujube* Mill.) orchards on loess hillslopes in Northwest China. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 247, n. February, p. 343–351, 2017.

LOPES, A. et al. Sistema plantio direto: bases para o manejo da fertilidade do solo. p. 1–115, 2004.

MACIEL, G. A. et al. Influence of integrated crop-livestock-forest systems on soil organic matter in tropical regions. **Dynamic soil, dynamic plant**, v. 5, n. 1, p. 29–35, 2011.

MAGALHÃES, C. A. S. et al. Crop , livestock and forestry performance assessment under different production systems in the north of Mato. **Agroforest Syst**, v. 0123456789, 2018a.

MAGALHÃES, W. DE A. et al. Physical-hydraulic soil attributes in an integrated production system with different “paricá” forest component arrangements. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 53, n. 3, p. 351–360, 2018b.

MARI, J. et al. Soil carbon and nitrogen stocks and fractions in a long-term integrated crop–livestock system under no-tillage in southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 190, p. 52–59, 2013.

MASCARENHAS, H. A. A. et al. Efeitos da calagem nas características químicas do solo e na nutrição de soja em latossolo roxo distrófico de cerrado. **Bragantia**, v. 35, n. 24, p. 273–278, 1976.

MELO FILHO, J. F. et al. **Método convencional e “bootstrap” para estimar o número de observações na determinação dos parâmetros da função  $K(\theta)$** . Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v26n4/06.pdf>>. Acesso em: 18 out. 2018.

MENDONÇA, V. Z. DE et al. Avaliação dos atributos físicos do solo em consórcio de forrageiras e milho em sucessão com soja em região de cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 1, p. 251–259, fev. 2013.

MOREIRA, E. D. S. et al. Production efficiency and agronomic attributes of corn in an integrated crop-livestock-forestry system. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 53, n. 4, p. 419–426, abr. 2018.

NIE, Z. et al. Benefits, challenges and opportunities of integrated crop-livestock systems and their potential application in the high rainfall zone of southern Australia: A review. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 235, p. 17–31, 2016.

OLIVEIRA, D. M. S. et al. Is the expansion of sugarcane over pasturelands a sustainable strategy for Brazil's bioenergy industry? **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 102, n. April 2018, p. 346–355, 2019.

PACHECO, L. P. et al. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura e produtividade de soja e arroz em plantio direto. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 48, n. 9, p. 1228–1236, 2013.

PARDON, P. et al. Trees increase soil organic carbon and nutrient availability in temperate agroforestry systems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 247, n. January, p. 98–111, 2017.

PEZZOPANE, J. R. M. et al. Forage productivity and nutritive value during pasture renovation in integrated systems. **Agroforestry Systems**, v. 93, n. 1, p. 39–49, 2 fev. 2019.

RAIJ, B. VAN et al. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: 1997.

REICHERT, J. M. et al. Water balance in paired watersheds with eucalyptus and degraded grassland in Pampa biome. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 237–238, p. 282–295, 2017.

ROCHA, J. H. T.; DU TOIT, B.; GONÇALVES, J. L. DE M. Ca and Mg nutrition and its application in Eucalyptus and Pinus plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 442, n. January, p. 63–78, 2019.

ROLIM, G. S.; APARECIDO, L. E. O. Camargo, Köppen and Thornthwaite climate classification systems in defining climatical regions of the state of São Paulo, Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 2, p. 636–643, 2016.

SILVA, A. P.; KAY, B. D.; PERFECT, E. Characterization of the Least Limiting Water Range of Soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, n. 6, p. 1775, 2010.

SMETHURST, P. J. et al. Accurate crop yield predictions from modelling tree-crop interactions in gliricidia-maize agroforestry. **Agricultural Systems**, v. 155, n. April, p. 70–77, 2017.

SOUSA NETO, E. L. DE et al. Physical quality of an Oxisol under an integrated crop-livestock-forest system in the Brazilian Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 2, p. 608–618, abr. 2014.

SOUZA, E. D. DE et al. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 34, n. 1, p. 79–88, fev. 2010.

SPERA, S. T. et al. Integração lavoura e pecuária e os atributos físicos de solo manejado sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 33, n. 1, p. 129–136, 2009.

VAN GENUCHTEN, M. T. A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils<sup>1</sup>. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, n. 5, p. 892, 1980.

ZIMMER, A. H. et al. **Degradação, recuperação e renovação de pastagens**. Brasília: 2012. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/951322/1/DOC189.pdf>>.