

INSTITUTO FEDERAL GOIANO – CAMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS – AGRONOMIA

**ESTOQUES DE CARBONO E ATRIBUTOS EDÁFICOS
EM DIFERENTES USOS DA TERRA NO CERRADO
GOIANO**

Autora: Thamires Marques Moura
Orientadora: Prof.^a Dr.^a Darliane de Castro Santos

Rio Verde – GO
fevereiro – 2022

INSTITUTO FEDERAL GOIANO – CAMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS – AGRONOMIA

**ESTOQUES DE CARBONO E ATRIBUTOS EDÁFICOS
EM DIFERENTES USOS DA TERRA NO CERRADO
GOIANO**

Autora: Thamires Marques Moura
Orientadora: Prof.^a Dr.^a Darliane de Castro Santos

Tese apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de DOUTORA em CIÊNCIAS AGRÁRIAS, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias-Agronomia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Área de concentração em Produção Vegetal Sustentável no Cerrado.

Rio Verde – GO
fevereiro – 2022

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

M929e Moura, Thamires Marques
Estoques de carbono e atributos edáficos em diferentes usos da terra no Cerrado goiano. / Thamires Marques Moura; orientadora Darliane de Castro Santos; co-orientadora Marcia Thais de Melo Carvalho. -- Rio Verde, 2022.
67 p.

Tese (Doutorado em Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia) -- Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2022.

1. Sistemas integrados. 2. ILPF. 3. Carbono solo. 4. Atributos químicos. 5. Atributos físicos. I. Santos, Darliane de Castro, orient. II. Carvalho, Marcia Thais de Melo, co-orient. III. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- Tese Artigo Científico
 Dissertação Capítulo de Livro
 Monografia – Especialização Livro
 TCC - Graduação Trabalho Apresentado em Evento
 Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____

Nome Completo do Autor: Thamires Marques Moura

Matrícula: 2018202320140108

Título do Trabalho: Estoques de carbono e atributos edáficos em diferentes usos da terra no Cerrado goiano.

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 12/04/2022

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rio Verde, 11 / 04 / 2022.
Local Data

Thamires m. Moura

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

Darlaine de Lacerda Santos

Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Documentos 22/2022 - NREPG-RV/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

ESTOQUES DE CARBONO E ATRIBUTOS EDÁFICOS EM DIFERENTES USOS DA TERRA NO CERRADO GOIANO.

Autora: Thamires Marques Moura
Orientadora: Dra. Darliane de Castro Santos

TITULAÇÃO: Doutorado em Ciências Agrárias-Agronomia - Área de Concentração em Produção Vegetal Sustentável no Cerrado

APROVADO em, 11 de fevereiro de 2022.

Prof^a. Dra. Darliane de Castro Santos (Presidente)
Prof. Dr. Gustavo Castoldi (Avaliador interno)
Prof^a. Dra. Beata Eموke Madari (Avaliadora externa)
Prof. Dr. Leandro Carlos (Avaliador interno)
Prof. Dr. Robélio Leandro Marchão (Avaliador externo)

Documento assinado eletronicamente por:

- : Beata Eموke Madari, : Beata Eموke Madari - 203405 - Pesquisador das ciências agrárias - Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças-Cnph- Embrapa (00348003005503), em 11/02/2022 12:54:33.
- Robélio Leandro Marchão, Robélio Leandro Marchão - 203405 - Pesquisador das ciências agrárias - Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças-Cnph- Embrapa (00348003005503), em 11/02/2022 12:54:31.
- Leandro Carlos, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 11/02/2022 12:54:23.
- Gustavo Castoldi, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 11/02/2022 12:54:16.
- Darliane de Castro Santos, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 11/02/2022 12:52:49.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 10/02/2022. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 357093
Código de Autenticação: cb00ce3b81



AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, minha fortaleza, meu guia e fonte de sabedoria para todos os momentos, iluminando minha mente nos momentos difíceis, dando-me força e coragem para seguir.

A minha família, especialmente minha mãe Marlucia, que sempre me apoiou, ajudando a passar por tantos momentos, sendo minha inspiração e exemplo de honestidade e perseverança. A vocês, todo o meu amor e a minha gratidão.

A minha orientadora, Professora Dr.^a Darliane de Castro Santos, pela oportunidade, por todo apoio, orientação, ensinamentos e confiança. Aos coorientadores professores Dr. Aurélio Rubio Neto, Dr.^a Marcia Thais de Melo Carvalho, Dr. Marco Aurélio Carbone Carneiro, por compartilharem seus conhecimentos e pela disponibilidade em ensinar. A vocês, toda a minha admiração.

Ao Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia, pela oportunidade de qualificação profissional, e, também ao Instituto Federal Goiano – Campus Iporá, pela concessão do afastamento para capacitação, que possibilitou a dedicação exclusiva ao desenvolvimento da tese, e a todos seus servidores e colegas que se envolveram e colaboraram na condução de atividades fundamentais para obtenção dos resultados alcançados.

A Embrapa Arroz e Feijão, especialmente a Márcia Thais e Beata Madari, que disponibilizaram tempo, conhecimento, além da infraestrutura, e a equipe do Laboratório de Análise Agroambiental, nas pessoas do Adilson, Tatiana, Silvio e Selma, por promoverem tantos momentos de aprendizagem, e pelo apoio na execução das análises laboratoriais.

Aos membros da banca, pela disponibilidade, sugestões, contribuições e discussões construtivas para a melhoria deste trabalho.

A todos os professores que contribuíram para a minha formação acadêmica, desde a graduação até o doutorado, serei eternamente grata pela oportunidade de agregar conhecimentos e valores essenciais para a minha formação profissional e pessoal.

Aos meus amigos Amanda Munielly e Lucas Jorge, pelo auxílio e apoio na execução de várias etapas deste trabalho, além de todo incentivo e parceria nas diversas viagens para as aulas ou coletas em campo, assim como a todos aqueles que em algum momento auxiliaram na coleta de dados deste trabalho, como Stéfany Monteiro, Bárbara Miranda, Vitor Aurelio Freitas, Estenio Moreira, Tiago Paim, e àqueles que sempre estiveram presentes apoiando, aconselhando, e promovendo horas de descontração e alegria.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a construção desse trabalho.

BIOGRAFIA DA AUTORA

THAMIRES MARQUES MOURA, filha de Marlúcia Marques e Geraldo Moura de Oliveira, nasceu dia 22 de setembro de 1990, na cidade de Iporá, Goiás.

Em março de 2008, ingressou no curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Tocantins – Campus Gurupi, graduando-se em 2013.

Em abril de 2013 iniciou no curso de Mestrado pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, na Universidade Federal do Tocantins – Campus Gurupi, concluindo em abril de 2015. Nesse interstício, em 2014 foi aprovada e tomou posse em concurso público para o cargo de Professor efetivo do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico do Instituto Federal Goiano – Campus Iporá, onde atua como docente nos cursos de Técnico em Agropecuária e Bacharelado em Agronomia até o presente momento.

Em setembro de 2018 ingressou no Doutorado pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia, no Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, sob a orientação da professora Darliane de Castro Santos, concluindo com a defesa da tese em 2022.

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE DE TABELAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES	x
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiv
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Sistemas integrados de produção agropecuária	3
2.2 Atributos físicos, químicos e estoques de carbono do solo	4
2.3 O cultivo de <i>Eucalyptus</i> spp. em sistemas ILPF	5
2.4 Cerrado e espécies arbóreas nativas	6
2.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	8
3. OBJETIVOS	12
3.1 Geral	12
3.2 Específicos	12
CAPÍTULO I	13
Resumo	13
4.1 Introdução	14
4.2 Material e métodos	15
4.2.1. Histórico e descrição das áreas experimentais	15
4.2.2. Amostragem de solo e análises laboratoriais	19
4.2.3. Análises estatísticas	21
4.3 Resultados	21
4.4 Discussão	27
4.5 Conclusão	32
4.6 Referências bibliográficas	33
CAPÍTULO II	39
RESUMO	39
5.1 INTRODUÇÃO	40
5.2 MATERIAL E MÉTODOS	42
5.2.1 Descrição da área e histórico	42
5.2.2 Amostragem de solo e análises laboratoriais	44
5.2.3. Estoque de SOC e determinação da origem pela abundância natural do ¹³ C	47
5.2.4. Análise estatística	48
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
5.3.1. Atributos químicos e físicos dos solos	48

5.3.2. Estoque de SOC e abundância natural do ^{13}C	55
5.4 CONCLUSÕES.....	59
5.5 REFERÊNCIAS.....	60
6. CONCLUSÃO GERAL.....	67

ÍNDICE DE TABELAS

Capítulo 1

Tabela 1. Textura de um Cambissolo háplico de Cerrado sob pastagem de baixa produtividade (P-BP), com sistemas ILPF com eucalipto (ILPF-E0, ILPF-E5) e baru (ILPF-D0, ILPF-D5), pastagem cultivada (PC) e mata nativa (MN), até 1 m de profundidade, em Iporá, Goiás, Brasil.	17
Tabela 2. Valores médios de densidade do solo (DS), porosidade total (PT), microporosidade (MI), macroporosidade (MA), capacidade de aeração do solo (CAS), capacidade de água disponível (CAD) e índice S sob pastagem de baixa produtividade (P-BP), sistemas ILPF com eucalipto (ILPF-E0, ILPF-E5) e baru (ILPF-D0, ILPF-D5), pastagem cultivada (PC) e mata nativa (MN), até 1 m de profundidade, em Cambissolo háplico em Iporá, Goiás, Brasil.	22
Tabela 3. Valores médios de pH, matéria orgânica (MO), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) sob pastagem de baixa produtividade (P-BP), sistemas ILPF com eucalipto (ILPF-E0, ILPF-E5) e baru (ILPF-D0, ILPF-D5), pastagem cultivada (PC) e mata nativa (MN), até 1 m de profundidade, em Cambissolo háplico em Iporá, Goiás, Brasil.	23
Tabela 4. Valores médios de alumínio (Al), acidez potencial (H+Al), cobre (Cu), zinco (Zn), ferro (Fe) e manganês (Mn) sob pastagem de baixa produtividade (P-BP), sistemas ILPF com eucalipto (ILPF-E0, ILPF-E5) e baru (ILPF-D0, ILPF-D5), pastagem cultivada (PC) e mata nativa (MN), até 1 m de profundidade, em Cambissolo háplico em Iporá, Goiás, Brasil.	25
Tabela 5. Valores médios de estoques totais de carbono (CT) e nitrogênio (NT), e carbono orgânico do solo (COS) sob pastagem de baixa produtividade (P-BP), sistemas ILPF com eucalipto (ILPF-E0, ILPF-E5) e baru (ILPF-D0, ILPF-D5), pastagem cultivada (PC) e mata nativa (MN), até 1 m de profundidade, em Cambissolo háplico em Iporá, Goiás, Brasil.	26

Capítulo 2

Tabela 1. Caracterização granulométrica das camadas do Latossolo Vermelho, sob ILPF (ICLF), pastagem de baixa produtividade (pasture), eucalipto em monocultivo (Eucalyptus), lavoura em monocultivo de milho (grains) e mata nativa (forest) em Morrinhos, Goiás, Brasil.	46
Tabela 2. Atributos químicos do solo, matéria orgânica (MO), pH, fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), soma de bases (SB), CTC efetiva (CTCef.), CTC total	

(CTCpH) e acidez potencial (H+Al) sob diferentes coberturas vegetais, nas camadas de 0-0,10 m, 0,10-0,20 m, 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m em um Latossolo Vermelho distrófico, em Morrinhos, Goiás, Brasil.....	49
Tabela 3. Atributos químicos do solo, saturação por bases (V), saturação por alumínio (m), alumínio (Al), cobre (Cu), zinco (Zn), ferro (Fe) e manganês (Mn) sob diferentes coberturas vegetais, nas camadas de 0-0,10 m, 0,10-0,20 m, 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m em um Latossolo Vermelho distrófico, em Morrinhos, Goiás, Brasil.....	50
Tabela 4. Atributos físicos do solo, porosidade total (PT), macroporosidade (MA), microporosidade (MI), densidade do solo (DS), capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e água disponível (AD) sob diferentes coberturas vegetais, nas camadas de profundidade 0-0,10 m, 0,10-0,20 m, 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m em um Latossolo Vermelho distrófico, em Morrinhos, Goiás, Brasil.....	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 1

- Figura 1. (A) Detalhe do cascalho presente no Cambissolo háplico presente na área de estudo. (B) Trincheira para coleta de amostras de solo até 1 metro de profundidade, em Iporá, Goiás, Brasil. 16
- Figura 2. Localização do município Iporá e locação das áreas de pastagem de baixa produtividade (P-BP), dos sistemas ILPF com eucalipto (ILPF-E0, ILPF-E5) e baru (ILPF-D0, ILPF-D5), da pastagem cultivada (PC) e mata nativa (MN) em Iporá, Goiás, Brasil. 17
- Figura 3. Posições de amostragem de solo na linha (0) e entrelinha (5) dos sistemas ILPF em Iporá, Goiás, Brasil. 20

Capítulo 2

- Figura 1. Localização de Morrinhos, Goiás, Brasil, e locação das áreas de ILPF (ICLF), pastagem de baixa produtividade (pasture), eucalipto em monocultivo (Eucalyptus), lavoura em monocultivo de milho (grains) e mata nativa (forest) onde o estudo foi realizado. 42
- Figura 2. Δ Posições de amostragem de solo na linha (0), distantes a 2,5 m (ICLF 2,5) e a 5,0 m (ICLF 5) do renque em Morrinhos, Goiás, Brasil. 45
- Figura 3. Estoque de carbono orgânico do solo (SOC) sob diferentes coberturas vegetais, nas camadas 0-0,10 m, 0,10-0,20 m, 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m em um Latossolo Vermelho distrófico, em Morrinhos, Goiás, Brasil. 56
- Figura 4. ¹³C do solo sob diferentes coberturas vegetais, nas camadas 0-0,10 m e 0,10-0,20 m em um Latossolo Vermelho distrófico, em Morrinhos, Goiás, Brasil. 58

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

^{13}C	Carbono isotópico
$^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$	Razão isotópica do carbono
ABC	Agricultura de Baixa Emissão de Carbono
Al^{3+}	Cátion trocável de Alumínio no solo (tóxico)
C	Carbono
CC	Capacidade de Campo
CO_2	Dióxido de carbono
COP15	United Nations Climate Change Conference ou Conferência das Partes pela Biodiversidade
COS ou SOC	Carbono Orgânico do Solo
COT	Carbono Orgânico Total
CT	Carbono Total
GEE	Gases de Efeito Estufa
H+Al	Acidez potencial do solo
H_2O	Água
ILF	Integração Lavoura-Floresta
ILP	Integração Lavoura-Pecuária
ILPF ou ICLF	Integração Lavoura-Pecuária-Floresta
ILPF-D0	Integração Lavoura-Pecuária-Floresta na linha de árvores de <i>D. alata</i>
ILPF-D5	Integração Lavoura-Pecuária-Floresta na entrelinha de árvores de <i>D. alata</i>
ILPF-E0	Integração Lavoura-Pecuária-Floresta na linha de árvores de <i>Eucalytus</i>
ILPF-E5	Integração Lavoura-Pecuária-Floresta na entrelinha de árvores de <i>Eucalytus</i>
IPF	Integração Pecuária-Floresta
km^2	Quilômetro quadrado
m	Metro
Mg	Megagrama (equivalente a 1 tonelada ou 1000 quilogramas)
mm	Milímetro

MN	Mata Nativa
MOS	Matéria Orgânica do Solo
NDC	Contribuição Nacionalmente Determinada
NT	Nitrogênio Total
PBP	Pastagem de Baixa Produtividade
PDB	Pee Dee Belemnite (rocha calcária)
PC	Pastagem Cultivada
PMP	Ponto de Murcha Permanente
SAF	Sistemas Agroflorestais
SIPA	Sistemas Integrados de Produção Agropecuária
TFSA	Terra Fina Seca ao Ar
%	Partes por mil

RESUMO

MOURA, THAMIRES MARQUES. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, fevereiro de 2022. **Estoques de carbono e atributos edáficos em diferentes usos da terra no Cerrado goiano.** Orientadora: DSc. Darliane de Castro Santos. Coorientadores: DSc. Aurélio Rubio Neto, DSc. Márcia Thais de Melo Carvalho, DSc. Marco Aurélio Carbone Carneiro.

A região Centro-Oeste do Brasil, dominada pelo bioma Cerrado é a maior produtora de grãos do país nas últimas décadas, tendo grande relevância na produção nacional de alimentos, além de importância ecológica com alta biodiversidade. No entanto, a produção agropecuária neste bioma requer novas abordagens, com foco no uso sustentável da biodiversidade e no aumento da eficiência de uso da terra. A integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) é um sistema de produção que possibilita essa intensificação sustentável da produção, promovendo a integração dos diferentes componentes agrossilvipastoris numa mesma área. Como o solo é um recurso natural essencial para o funcionamento do ecossistema terrestre, é fundamental caracterizar o efeito que a adoção de sistemas ILPF promove nos atributos do solo. Desta forma, no capítulo I é avaliado o efeito das espécies arbóreas eucalipto (*Eucalyptus* spp.) e baru (*Dipteryx alata*) em sistema ILPF, nos atributos físico-químicos e estoque de carbono total, um ano após implantação em um Cambissolo. Os efeitos foram avaliados na linha e entrelinha de árvores nos sistemas ILPF, além de uma área de pastagem cultivada e fragmento de mata nativa de Cerrado, utilizando uma área de pastagem de baixa produtividade como área de referência para comparação. Foram determinados atributos químicos, físicos e estoque de carbono total do solo a partir de amostras coletadas nos

diferentes sistemas de uso da terra, a cada 0,10 m até 0,40 m de profundidade, e a cada 0,20 m até um metro de profundidade. A entrelinha de árvores no sistema ILPF com eucalipto teve suas características físico-químicas do solo afetadas e proporcionou incrementos significativos no estoque de carbono total do solo em relação a pastagem de baixa produtividade. No entanto, o sistema ILPF com componente florestal baru ainda não interferiu marcadamente nos atributos químico-físicos do solo e estoque de carbono nesta fase de estabelecimento. No capítulo II avaliou-se as propriedades químicas, físicas, estoque de C e a abundância natural do ^{13}C de um Latassolo sob diferentes sistemas de uso da terra. No ILPF as coletas foram realizadas na linha do renque de árvores, e distantes 2,5 m e 5,0 m do renque. Os demais tratamentos consistiram em uma lavoura em monocultivo de milho, eucalipto em monocultivo, mata nativa típica do Cerrado e uma pastagem de baixa produtividade utilizada como referência. Amostras de solo foram coletadas nas áreas a cada 0,10 m, até 0,40 m de profundidade. As diferentes posições de avaliação no sistema ILPF demonstraram maiores diferenças nos atributos químicos em relação à pastagem de baixa produtividade, mas as diferentes distâncias do renque de árvores não foram ainda capazes de inferir marcadamente no estoque de C orgânico total do solo (SOC) e abundância natural do ^{13}C . O SOC do ILPF não diferiu da mata nas menores profundidades. Tais dados são fundamentais como marco inicial para monitorar o efeito que a adoção dos sistemas ILPF promoverão na qualidade do solo ao longo do tempo, possibilitando identificar sua sustentabilidade e contribuição no aporte de carbono no solo, contribuindo para produção sustentável de alimentos frente as mudanças climáticas.

PALAVRAS-CHAVE: $\delta^{13}\text{C}$, sistemas integrados de produção, *Dipteryx alata*, *Eucalyptus* spp., carbono orgânico do solo.

ABSTRACT

MOURA, THAMIRES MARQUES. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, fevereiro de 2022. **Carbon stocks and edaphic attributes in different land uses in the Cerrado of Goiás.** Adviser: DSc. Darliane de Castro Santos. Co-advisers: DSc. Aurélio Rubio Neto, DSc. Márcia Thais de Melo Carvalho, DSc. Marco Aurélio Carbone Carneiro.

The Midwest region of Brazil is the largest agricultural producer in the country in recent decades, being predominantly dominated by the Cerrado biome. Given the importance and potential of the Cerrado, viable management in this biome requires new approaches, focusing on the sustainable use of biodiversity and increasing the efficiency of land use. Crop-Livestock-Forest (ICLF) is a system that enables this intensification of sustainable production, promoting the integration of different forestry components in the same area. As the natural soil vital for the functioning of the terrestrial ecosystem, it is essential to characterize the effect that the adoption of ICLF systems promotes on soil attributes. Thus, in chapter I, the effect of eucalyptus (*E. urograndis*) and baru (*D. alata*) tree species in the ICLF system on physicochemical attributes and total carbon stock of an implantation in a Cerrado Cambisol is evaluated. The effects were evaluated in the line and between the line of trees in the ICLF systems, in addition to an area of cultivated pasture and a fragment of native Cerrado forest, using a pasture area of low productivity as a reference area for comparison. Total chemical and physical attributes and carbon stock were determined up to a depth of one meter. The interline of trees in the ICLF system with eucalyptus had its physicochemical characteristics of the soil affected and provided significant increases in the total carbon stock of the soil in relation to low productivity pasture. However, the ICLF system with baru still did not interfere

markedly in the chemical-physical attributes of the soil and carbon stock at this stage of establishment. In chapter II, it was evaluated as standard, physical, C stock and natural abundance of ^{13}C of a Latassolo under ICLF system with eucalyptus. In the ICLF, the collections were carried out in the line of the row of trees, and distant 2.5 m and 5.0 m from the row. The other treatments consist of a monoculture corn crop, eucalyptus monoculture, native forest typical of the Cerrado and a pasture used as a reference. Soil samples were collected in each area every 10 cm, up to 0.40 m deep. The different evaluation positions in the ICLF system showed greater differences in chemical attributes in relation to low-productivity pasture, but the different distances from the row of trees were not yet able to markedly infer the total soil organic C (SOC) stock and abundance natural from ^{13}C . The ICLF SOC did not differ from the forest at lower depths. Data are critical to support systems throughout the ICLF promoting that the adoption of such quality impact systems identifies their sustainability and support in supporting soil carbon throughout a sustainable production of initial impact such as climate change.

KEYWORDS: ^{13}C , integrated systems, *D. alata*, *Eucalyptus*, soil organic carbon.

1. INTRODUÇÃO GERAL

A agropecuária brasileira tem se destacado mundialmente no cenário da produção de alimentos, com sucessivos recordes anuais de produção e produtividade, os quais Barros et al. (2019) reconhecem serem motivados pela adoção de novas tecnologias e pelo apoio de políticas públicas de crédito e aumento do mercado mundial.

Dentre estas novas tecnologias estão os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA), que abrangem, entre outras configurações, a integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF). Este sistema ganhou maior visibilidade no Brasil ao integrar o Programa para uma Agricultura de Baixa emissão de Carbono (Programa ABC) (BRASIL, 2012), um pacote de práticas sustentáveis na agricultura criado em 2010 a partir do compromisso voluntário do governo brasileiro de reduzir emissões de gases de efeito estufa (GEE), como parte da estratégia no combate ao aquecimento global.

A ILPF tem como premissa promover a intensificação e a integração dos diferentes componentes de produção agropecuária, com ganhos de produtividade, rentabilidade e aumento da oferta de alimentos, refletindo na diminuição da pressão para a abertura de novas áreas, além de proporcionar uma série de serviços ambientais, cujos benefícios extrapolam os limites da propriedade rural (PEREIRA, 2019).

É notório como ocorreram mudanças espaciais na agricultura brasileira no último meio século, com migrações em direção a outras regiões rurais, especialmente para as regiões Norte e Centro-Oeste, sendo esta última a maior região produtora de grãos do país nas últimas décadas, gerando grande parte do valor de produção nacional, impulsionando as exportações (EMBRAPA, 2018). Esta região é dominada

pelo bioma Cerrado, que é o segundo maior bioma brasileiro em extensão, internacionalmente reconhecido como um “hotspot” de biodiversidade – área de grande relevância ecológica, com vegetação diferenciada e grande número de espécies endêmicas ameaçadas de extinção. No entanto, é o bioma brasileiro que mais perdeu cobertura vegetal nativa (FERNANDES et al., 2016).

Diante da importância e potenciais do bioma Cerrado, o manejo agropecuário neste bioma requer novas abordagens que devem contemplar, além do acréscimo da produção em si, o aumento da proteção ambiental, com desenvolvimento de inovações tecnológicas que busquem a adoção de um modelo econômico com foco no uso sustentável da biodiversidade e no aumento da eficiência de uso da terra.

Recurso natural essencial para o funcionamento do ecossistema terrestre, o solo regula a produção de alimentos e fibras, o balanço global do ecossistema, e segurança hídrica, além de servir como meio para o crescimento vegetal via suporte físico para disponibilidade de água, nutrientes e oxigênio para as raízes (Araújo; Monteiro, 2007; Doran et al., 1996). Assim, é fundamental caracterizar o efeito da adoção de sistemas de ILPF nos atributos do solo, a fim de fornecer subsídios para o estabelecimento de sistemas de manejo economicamente viáveis, e de baixo impacto sobre ecossistemas naturais, especialmente porque sistemas produtivos com estudo de componentes arbóreos são ainda pouco explorados.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Sistemas integrados de produção agropecuária

Os Sistemas Integrados de Produção Agropecuária (SIPA) representam um conceito contemporâneo que engloba modelos de produção de alimentos alinhados às crescentes preocupações ambientais e necessidades mundiais de se produzir de maneira compatível com a disponibilidade de recursos naturais.

Estes sistemas já foram reconhecidos pela FAO (2010) como alternativa para intensificação sustentável, sendo definidos como uma integração intencional entre lavoura, pecuária e/ou árvores, refletindo em relação sinérgica entre os componentes que, gerida de forma adequada, resulta em melhoria social, sustentabilidade econômica e ambiental, e melhora os meios de subsistência dos agricultores que os administram. Furquim et al. (2020) citam que, dependendo da aptidão da região produtora, os SIPA apresentam-se em diferentes configurações: lavoura-pecuária (ILP), lavoura-floresta (ILF), pecuária-floresta (IPF) lavoura-pecuária-floresta (ILPF) e sistema agroflorestal (SAF).

De acordo com Balbino et al. (2011), estes sistemas são mais estáveis e diversificados, contribuindo para a recuperação de pastagens degradadas, reconstituição da cobertura florestal, promoção de serviços ambientais, utilização de boas práticas agropecuárias, geração de emprego e renda, com uso eficiente e racional dos recursos produtivos, caracterizando-se como uma estratégia promissora capaz de conciliar ecoeficiência com desenvolvimento socioeconômico.

Apesar de serem considerados sistemas inovadores no Brasil, são conhecidos desde a antiguidade na Europa, vários tipos de plantios com associação entre culturas anuais e perenes ou entre árvores madeireiras e frutíferas (Balbino et al., 2011). Entretanto, ganharam maior notoriedade no cenário brasileiro ao constituir uma das tecnologias do plano ABC do Governo Federal do Brasil, que assumiu voluntariamente na 15ª Conferência das Partes (COP15), ocorrida em Copenhague no ano de 2009, o compromisso de reduzir as emissões de gases de

efeito estufa (GEE) através da adoção de práticas que aliem a conservação do solo aos ganhos econômicos, com disponibilização de linhas de crédito para produtores (BRASIL, 2012).

2.2 Atributos físicos, químicos e estoques de carbono do solo

A qualidade do solo é uma propriedade fundamental para manutenção e aumento de produtividade de sistemas agrícolas, pois influencia a saúde das plantas, animais e conseqüentemente dos seres humanos (Melo et al., 2017). Além da importância do solo para a produção de alimentos, este também é um recurso essencial para o funcionamento global dos ecossistemas (Cardoso; Andreote, 2016; Mendes et al., 2018). Ao longo do tempo, os solos podem manter, melhorar ou piorar suas propriedades químicas, físicas e biológicas, dependendo do tipo de manejo adotado, refletindo sua capacidade produtiva (Silva; Araújo, 2005).

Desta forma, o estudo e análise das propriedades químicas e físicas do solo permitem quantificar o impacto das alterações geradas por diferentes práticas de manejo agrícola e uso da terra ao longo do tempo. O monitoramento da qualidade do solo serve para indicar a capacidade do solo de sustentar as diversas atividades que dependem diretamente dele, fornecendo subsídios para a adoção de práticas de manejo que permitam incrementar o rendimento das culturas, garantindo a contínua sustentabilidade e conservação dos ecossistemas (Carneiro et al., 2013; Freitas et al., 2017; Diniz et al., 2021).

Dentre os indicadores físicos comumente utilizados, têm-se a densidade de solo, macroporosidade, microporosidade, porosidade total, capacidade de retenção de água pelo solo (Carneiro et al., 2009; Assis et al., 2015; Torres et al., 2015; Bonetti et al., 2018). As propriedades químicas dos solos também são modificadas, principalmente na camada arável entre 0 e 30 cm de profundidade, em virtude da adição de corretivos, fertilizantes e de operações agrícolas (Freitas et al., 2017), influenciando na disponibilidade de nutrientes para as culturas.

Além disso, o solo é tido como o principal reservatório temporário de carbono (C) no ecossistema, apresentando em média 4,5 vezes mais carbono do que a biota (sobre o solo) e 3,3 vezes mais C do que a atmosfera (Bruce et al., 1999; Lal, 2004). No entanto, a conversão de ecossistemas naturais em agricultura pode representar perdas superiores a 75% do estoque original de matéria orgânica em solos tropicais, refletindo em diminuição dos estoques de carbono, alteração da composição química da matéria orgânica do solo (MOS) e significativa emissão de gás carbônico (CO₂) para a atmosfera (Lal, 2004; Silva et al., 1999), indo na contramão dos esforços mundiais para redução da emissão de gases de efeito estufa.

A MOS tem capacidade de alterar os atributos físicos e químicos do solo, sendo

extremamente importante em solos tropicais e subtropicais no fornecimento de nutrientes às culturas, favorecendo a retenção de cátions, a complexação de elementos tóxicos e de micronutrientes, propiciando melhorias na estabilidade de agregados do solo, no fluxo da água, na aeração, além de servir como fonte de carbono e nutrientes para micro-organismos (Bayer; Mielniczuk, 2008; Bayer et al., 2000). Como sua presença está relacionada com diversos processos biológicos, físicos e químicos do solo, e por ser sensível frente a modificações impostas pelo manejo, é considerada como o indicador ideal para avaliar qualidade do solo (Vezzani; Mielniczuk, 2009).

Estudos apontam que sistemas de produção e práticas agrícolas conservacionistas, como o plantio direto e os sistemas integrados de produção, possuem tendência em armazenar mais C, pela manutenção e incremento de material orgânico depositado na superfície, além de contribuírem de forma positiva sobre as características físicas, químicas e biológicas do solo (Cardinael et al., 2017; Machado et al., 2011; Vilela et al., 2011).

De acordo com Kunhamu et al. (2011), a dinâmica do C do solo sob sistemas de ILPF pode ser muito diferente da observada em sistemas agrícolas sem utilização de árvores, uma vez que a árvore pode influenciar diretamente a acumulação de C no solo pelo arranjo e densidade, e pelas espécies de árvores, evidenciando que estudos que avaliam os estoques de carbono orgânico dos solos são essenciais nesses sistemas ILPF.

2.3 O cultivo de *Eucalyptus* spp. em sistemas ILPF

O gênero *Eucalyptus*, pertencente à família Myrtaceae, tem a sua origem na Austrália, Tasmânia e outras ilhas da Oceania. Existem cerca de 730 espécies reconhecidas botanicamente, com a maioria apresentando grande porte (30 a 50 m de altura) (Mora; Garcia, 2000; Pinto Júnior et al., 2014). Apresenta ampla plasticidade e dispersão mundial, crescendo satisfatoriamente em diferentes situações edafoclimáticas (Santos et al., 2001).

Atualmente, é o gênero que possui espécies com maior potencial de uso em sistemas ILPF, pelo rápido crescimento das árvores, oferta de clones adaptados a diferentes regiões, copa delgada, alto rendimento econômico e produção de múltiplos produtos madeireiros e não madeireiros (Cordeiro et al., 2015), incluindo ainda a promoção de sombra e proteção de ventos. Árvores jovens são mais usadas na produção de polpa celulósica e papel, carvão, combustível, postes, madeira para painéis. Árvores mais maduras possuem madeira mais durável, direcionadas para uso mais nobre em serrarias e para a produção de móveis. Além disso, podem ser utilizadas para a produção de outros produtos florestais não madeireiros, tais como óleos voláteis utilizados em medicamentos e na indústria química, além do mel (Moura, 2001; Pinto Júnior et al., 2014).

As áreas com cobertura de eucalipto somaram 7,6 milhões de hectares no ano de 2019, correspondente a 76,3% das florestas plantadas para fins comerciais no país, seguido do *Pinus* com 2 milhões de hectares plantados, e 387 mil hectares com outras espécies, evidenciando a importância da silvicultura para a economia do país, que registra os maiores índices de produtividade de biomassa florestal com origem em áreas plantadas, destacando-se, internacionalmente, no mercado de papel e celulose (PEVS, 2019).

2.4 Cerrado e espécies arbóreas nativas

Localizado essencialmente no Planalto Central do Brasil, o Cerrado ocupa aproximadamente 23% do território nacional (mais de 2 milhões de km²), sendo considerado como a savana tropical mais rica do mundo em biodiversidade, abrigando várias espécies endêmicas. Abrange como área contínua os Estados de Goiás, Tocantins e o Distrito Federal, parte dos Estados da Bahia, Ceará, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Piauí, Rondônia e São Paulo e, também ocorre em áreas disjuntas ao norte nos Estados do Amapá, Amazonas, Pará e Roraima, e ao sul, em pequenas “ilhas” no Paraná (Sano et al., 2008).

O Cerrado é um domínio que apresenta condições biofísicas bastante heterogêneas e que, associadas a fatores históricos sociais, econômicos e tecnológicos, o caracterizam com elevada pluralidade em seu uso e ocupação. É uma das regiões em que a agricultura brasileira mais se desenvolveu nas últimas décadas, responsável por 40% da produção total nacional das culturas agrícolas anuais, sendo estrategicamente importante para segurança alimentar. Tais características geram crescente preocupação com o uso sustentável e a preservação dos recursos naturais deste bioma, buscando garantir um desenvolvimento sustentável (Bolfé et al., 2020).

O cultivo de espécies florestais nativas do Cerrado pode auxiliar tanto na preservação deste domínio quanto na viabilização de alternativas econômicas para a região. Uma destas espécies com relevante potencial de cultivo é o *Dipteryx alata* (Vogel) da família Fabaceae, popularmente conhecida como baru. Segundo Lorenzi (2008) e Sano et al. (2004), trata-se de uma leguminosa, que atinge cerca de 15 a 25 m de altura quando adulta, com madeira de alta densidade, durável e bastante utilizada para construção de mourões. Além disso, seus frutos apresentam polpa aromática, sendo consumida pelo gado e animais silvestres, e utilizada como farinha de biscoito doce; sua amêndoa assemelha-se ao amendoim, podendo ser consumida *in natura* ou torrada; da parte lenhosa do fruto é produzido carvão de alta qualidade. É utilizado ainda na medicina popular para problemas na coluna e como afrodisíaco.

Por se tratar de uma espécie nativa com múltiplos usos, já adaptada as condições edafoclimáticas, sua inserção em sistemas produtivos é promissora. Volpe et al. (2014) observou alta sobrevivência das mudas de baru em sistema silvipastoril quando protegidas do gado (95%) e quando não protegidas (89%). Verificou-se ainda uma velocidade de crescimento do baru, neste experimento, superior a outros estudos e plantios, em que após 13 meses as mudas protegidas atingiram 2,3 m de altura e as não protegidas atingiram 1 m de altura, enquanto Andrade et al. (2020) observaram altura média de 3,0 m aos 30 meses após o plantio solteiro de baru.

Além disso, em estudo de Abreu et al. (2021), o *D. alata* foi a espécie que apresentou maior tolerância ao herbicida glifosato, que é comumente utilizado para controle de plantas daninhas, sendo o herbicida mais amplamente usado no mundo (Pollegioni et al., 2011). Tal resultado indica a possibilidade de consórcio desta espécie arbórea com cultivos agrícolas, com menores prejuízos fitotóxicos. Aliado a isto, seus frutos possuem elevado poder nutritivo e demanda crescente no mercado, especialmente pelo número crescente de consumidores focados em alimentação saudável (Fact.MR, 2019).

2.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, K. M. de; SANTOS, D. de C.; PENNACCHI, J. P.; CALIL, F. N.; MOURA, T. M.; ALVES, E. M.; OLIVEIRA, T. C.; SILVA, F. G.; FERREIRA, J. B. G.; FIALHO, A. R.; SOUZA, S. O. de. Differential tolerance of four tree species to glyphosate and mesotrione used in agrosilvopastoral systems. **New Forests**, p. 1–20, 2021.

ANDRADE, H. S. F. de; BARONI, G. de R.; BRANCALION, P. H. S.; MORAES, M. L. T. de; SILVA, P. H. M. da. Parâmetros genéticos de crescimento inicial e frutificação de *Dipteryx alata* Vogel em teste de progênie e espaçamento. **Scientia Forestalis**, v. 48, n. 126, p. 1–10, 2020.

ARAÚJO, A. S. F. de; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, v. 23, n. 3, p. 66-75, 2007.

ASSIS, P. C. R.; STONE, L. F.; MEDEIROS, J. C.; MADARI, B. E.; OLIVEIRA, J. de M.; WRUCK, F. J. Atributos físicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 4, p. 309-316, 2015.

BALBINO, L. C.; BARCELLOS, A. de O.; STONE, L. F. Base conceitual, sistemas e benefícios da ILPF. 1 ed. Brasília, DF: Embrapa, 2011a. 130p.

BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; PORFIRIO-DA-SILVA, V.; MORAES, A. de; MARTÍNEZ, G. B.; ALVARENGA, R. C.; KICHEL, A. N.; FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P. dos; FRANCHINI, J. C.; GALERANI, P. R. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1-12, 2011b.

BARROS, G. S. de C.; CASTRO, N. R.; SILVA, A. F.; FACHINELLO, A. L.; GILIO, L. Os ganhos de produção se refletiram em geração de maior renda para o agronegócio brasileiro nas últimas décadas? *Revista de Economia e Agronegócio*, v. 17, n. 2, p. 319-388, 2019.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). *Fundamentos da matéria orgânica do solo de ecossistemas tropicais e subtropicais*. 2a ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 9-26.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO₂. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 3, p. 599-607, 2000.

BOLFE, É. L.; SANO, E. E.; CAMPOS, S. K. **Dinâmica agrícola no Cerrado: análises e projeções**. Brasília, DF: Embrapa, 2020.

BONETTI, J. de A.; PAULINO, H. B.; SOUZA, E. D. de; CARNEIRO, M. A. C.; CAETANO, J. O. Soil physical and biological properties in an integrated crop-livestock

system in the Brazilian Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 11, p. 1239-1247, 2018.

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: MAPA/ACS: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Ministério do Desenvolvimento Agrário, 2012. 173p.

BRUCE, J. P.; FROME, M.; HAITES, E.; JANZEN, H.; LAL, R. Carbon sequestration in soils. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 5, n. 1, p. 382-389, 1999.

CARDINAEL, R.; CHEVALLIER, T.; CAMBOU, A.; BÉRAL, C.; BARTHÈS, B. G.; DUPRAZ, C.; DURAND, C.; KOUAKOUA, E.; CHENU, C. Increased soil organic carbon stocks under agroforestry: A survey of six different sites in France. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 236, p. 243-255, 2017.

CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. Microbiologia do solo. 2ª ed. Piracicaba, São Paulo: ESALQ, 2016. 221p.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D. de; PAULINO, H. B.; SALES, L. E. de O.; VILELA, L. A. F. Attributes quality indicators in cerrado soils surrounding the parque nacional das emas, State of Goiás, Brazil. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 6, p. 1857–1868, 2013.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D. de; REIS, E. F. dos; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. de. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 1, p. 147-157, 2009.

CORDEIRO, L. A. M.; VILELA, L.; KLUTHCOUSKI, J.; MARCHÃO, R. L. **Integração lavoura-pecuária-floresta: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. editores técnicos. Brasília, DF: Embrapa, 2015. 393p.

DINIZ, A. P. M. de J.; ARAGÃO, M. C.; EL-HUSNY, J. C.; PEREIRA, G. M.; HUNGRIA, L. C. da; SILVA, B. S. N. da. Atributos químicos do solo sob sistema plantio direto como indicador de sustentabilidade ambiental. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 3130-3152, 2021.

DORAN, J. W.; SARRANTONIO, M.; LIEBIG, M. A. Soil Health and Sustainability. In: SPARKS, D. L. (Ed.). **Advances in Agronomy**. San Diego: Academic Press, 1996. p.1-54.

EMBRAPA. Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira. Brasília, DF: Embrapa, 2018. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/visao/trajetoria-da-agricultura-brasileira>>. Acesso: 20 set. 2021.

FACT.MR. Baru Nuts Market Forecast, Trend Analysis & Competition Tracking - Global Market Insights 2019 to 2029. 2019. 170p. Disponível em: <https://www.factmr.com/report/1362/baru-nuts-market>. Acesso em: 14 nov. 2021.

FAO. An international consultation on integrated crop-livestock systems for

development: The way forward for sustainable production intensification. Rome: Integrated Crop Management, v. 13, 2010.

FERNANDES, G. W.; PEDRONI, F.; SANCHEZ, M.; SCARIOT, A.; AGUIAR, L. M. S.; FERREIRA, G.; MACHADO, R.; FERREIRA, M. E.; DINIZ, S.; PINHEIRO, R.; COSTA, J. A. S.; DIRZO, R.; MUNIZ, F. **Cerrado**: em busca de soluções sustentáveis. Rio de Janeiro: Veretente produções artísticas, 2016. 212p.

FREITAS, L.; OLIVEIRA, I. A.; SILVA, L. S.; FRARE, J. C. V.; FILLA, V. A.; GOMES, R. P. Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Unimar Ciências**, v. 26, n. 1-2, p. 08-25, 2017.

FURQUIM, M. G. D.; CARVALHO, M. T. de M.; ALVES, E. M. Estado da arte da pesquisa em sistemas integrados de produção agropecuária no estado de Goiás. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 3, p. 242-250, 2020.

KUNHAMU, T. K.; KUMAR, B. M.; SAMUEL, S. Does Tree Management Affect Biomass and Soil Carbon Stocks of *Acacia mangium* Willd. Stands in Kerala, India?. In: KUMAR, B.; NAIR, P. (Ed.). **Carbon Sequestration Potential of Agroforestry Systems**. Advances in Agroforestry. Dordrecht: Springer v. 8, 2011.

LAL, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, v. 304, p. 1623-1626, 2004.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil, vol. 1. 5.ed. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2008. 382p.

MACHADO, L. A. Z.; BALBINO, L. C.; CECCON, G. **Integração lavoura-pecuária-floresta**: estruturação dos sistemas de integração lavoura-pecuária. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2011. 46p. (Documentos, 110).

MELO, V. F.; SILVA, D. T. da; EVALD, A.; ROCHA, P. R. R. Qualidade química e biológica do solo em diferentes sistemas de uso em ambiente de savana. **Agro@mbiente On-line**, v. 11, n. 2, p. 101-110, 2017.

MENDES, I. C.; SOUSA, D. M. G.; REIS JUNIOR, F. B.; LOPES, A. A. de C. **Bioanálise de solo**: como acessar e interpretar a saúde do solo. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2018. 23p. (Circular Técnica, 38).

MORA, A. L.; GARCIA, C. H. **A cultura do Eucalipto no Brasil**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2000. 112p.

MOURA, V. P. G. **Potencial e uso de espécies de *Eucalyptus* e *Corymbia* de acordo com locais e usos**. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2001. 32p. (Documentos, 68).

PEREIRA, M. de A. **Avaliação econômica de sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta**: as experiências da Embrapa. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2019. 90p. (Documentos, 268).

PEVS. Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura 2019. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca->

catalogo?view=detalhes&id=774>. Acesso em: 21 set. 2021.

PINTO JÚNIOR, J. E.; SANTAROSA, E.; GOULART, I. C. G. R. Histórico do cultivo de eucalipto. In: SANTAROSA, E.; PENTEADO JÚNIOR, J. F. P.; GOULART, I. C. G. dos R. (Ed.). **Transferência de tecnologia florestal - cultivo de eucalipto em propriedades rurais**: diversificação da produção e renda. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p.11-12.

POLLEGIONI, L.; SCHONBRUNN, E.; SIEHL, D. Molecular basis of glyphosate resistance - different approaches through protein engineering. **FEBS Journal**, v. 278, n. 16, p. 2753-2766, 2011.

SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. **Cerrado**: ecologia e flora v. 2. Brasília: Embrapa Cerrados, 2008. 406p.

SANO, S. M.; RIBEIRO, J. F.; BRITO, M. A. de. **Baru**: biologia e uso. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004.52 p. (Documentos, 116).

SANTOS, A. F.; AUER, C. G.; GRIGOLETTI JÚNIOR, A. **Doenças do eucalipto no sul do Brasil**: identificação e controle. Colombo: Embrapa, 2001.

SILVA, C. A.; ANDERSON, S. J.; VALE, F. R. Carbono, nitrogênio e enxofre em frações granulométricas de dois Latossolos submetidos à calagem e adubação fosfatada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 593-602, 1999.

SILVA, D. J.; ARAÚJO, C. A. de S. Agricultura irrigada: a importância da adubação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., 2005, RECIFE. ANAIS... RECIFE: SBCS; EMBRAPA SOLOS - UEP RECIFE; UFRPE,2005, *Anais*. 2005.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; ASSIS, R. L. de; SOUZA, Z. M. Atributos físicos de um latossolo vermelho cultivado com plantas de cobertura, em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 2, p. 428-437, 2015.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 4, p. 743-755, 2009.

VILELA, L.; MARTHA JUNIOR, G. B.; MACEDO, M. C. M.; MARCHÃO, R. L.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; PULROLNIK, K.; MACIEL, G. A. Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1127-1138, 2011.

VOLPE, E.; GAMA, T. da C. M.; AJALLA, A. C. A.; VIEIRA, M. dos S.; CUNHA, M. B. da; FERNANDES, J. S. **Implantação de sistema silvipastoril de baru (*Dipteryx alata* Vog.) com e sem proteção e quatro espaçamentos em pastagem de capim-braquiária**. In: ALVES, F. V. (Coord.). Sistemas agroflorestais e desenvolvimento sustentável: 10 anos de pesquisa. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2013. p.137–150.

3. OBJETIVOS

3.1 Geral

Avaliar a implantação de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) sobre os atributos físicos, químicos e estoques de carbono total e orgânico em dois tipos de solo no Cerrado brasileiro.

3.2 Específicos

Identificar e avaliar o efeito das espécies *Dipteryx alata* e *Eucalyptus "urograndis"* nos atributos químicos, físicos e nos estoques de carbono do solo, sob sistema de ILPF em Cambissolo háplico do Cerrado.

Identificar e avaliar o efeito de *Eucalyptus* (clone AEC 2034) nos atributos químicos, físicos e nos estoques de carbono do solo, sob sistema de ILPF em Latossolo Vermelho distrófico do Cerrado.

Determinar a origem do carbono orgânico do solo em sistema de ILPF, em Latossolo Vermelho distrófico do Cerrado.

CAPÍTULO I

Atributos do Solo e Estoques de Carbono em Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta em Cambissolo no Cerrado brasileiro

(Normas de acordo com a Revista Brasileira de Ciência do Solo)

Destaques

- E. urograndis* promoveu diferenças sobre atributos do solo no entre renque do ILPF.
- E. urograndis* ocasionou incremento de C total do solo um ano após implantação do ILPF.
- Crescimento de *D. alata* ainda não apresentou efeito sobre as propriedades do solo.

Resumo

A integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) é um sistema que permite intensificação sustentável da produção agropecuária, frente aos desafios de segurança alimentar e questões climáticas globais. Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de espécies arbóreas, exótica e nativa, sobre os atributos físico-químicos e estoque de carbono total um ano após implantação de sistemas ILPF em um Cambissolo de Cerrado. Os efeitos foram avaliados na linha e entrelinha de árvores nos sistemas ILPF com eucalipto (*E. urograndis*) e baru (*D. alata*). Uma área de pastagem de baixa produtividade foi utilizada como área de referência para comparação com os sistemas ILPF, além de uma área de pastagem cultivada e um fragmento de mata nativa de Cerrado. Foram determinados atributos químicos, físicos, e estoque de carbono total do

solo até um metro de profundidade. A entrelinha de árvores no sistema ILPF com eucalipto teve suas características físico-químicas do solo afetadas, proporcionando incrementos significativos no estoque de carbono total do solo em relação a pastagem de baixa produtividade. O sistema ILPF com baru ainda não interferiu marcadamente nos atributos químico-físicos do solo e estoque de carbono nesta fase de estabelecimento.

Palavras-chave: ILPF, carbono orgânico do solo, *D. alata*, *Eucalyptus*, agricultura sustentável.

4.1 Introdução

Com as projeções de aumento da população mundial, a questão da demanda alimentar global ganhou maior visibilidade nos últimos anos, despertando preocupação com a capacidade do sistema agrícola mundial em suprir essa necessidade. Neste cenário, a produção agropecuária brasileira tem papel fundamental em relação à demanda alimentar, sendo protagonista na produção e exportação de produtos agrícolas (Conab, 2021; Embrapa, 2018).

No entanto, o impacto da agropecuária sobre o ambiente e as mudanças climáticas é tema recorrente nas últimas décadas, juntamente com o desafio de produzir com sustentabilidade. Desta forma, a tendência de intensificação e sustentabilidade da produção agropecuária brasileira também é influenciada por marcos regulatórios e acordos internacionais estabelecidos. A integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF, ou Crop-Livestock-Forestry - ICLF) faz parte das tecnologias do Plano ABC+ para o Brasil atingir as metas de mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GEE) de sua Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) firmadas no Acordo de Paris (UNFCCC, 2015), visando a consolidação de uma agropecuária alicerçada em sistemas produtivos sustentáveis e resilientes.

Vários autores têm relatado melhorias dos atributos químicos e físicos do solo com a adoção de sistemas integrados de produção, como a ILP e ILPF (Assis et al., 2015; Bonini et al., 2016; Loss et al., 2011; Portilho et al., 2011). Os sistemas integrados de produção agropecuária além de promoverem diversos benefícios ao solo, plantas e animais, por explorar o sinergismo entre seus componentes, proporcionam

incremento dos teores de matéria orgânica e maior quantidade de C orgânico e N (Bonini et al., 2016; Loss et al., 2011).

Os sistemas integrados possuem tendência em armazenar mais C devido ao maior incremento de material orgânico depositado na superfície, contribuindo para atingir as metas desse compromisso global, baseadas no sequestro do carbono orgânico do solo para reduzir as emissões de GEE (Machado et al., 2011; Vilela et al., 2011).

Predominantemente, os ILPF utilizam o *Eucalyptus* como componente florestal, por seu rápido crescimento, capacidade de adaptação a diversas regiões e pelo potencial econômico, que permite uso diversificado de sua madeira (Pinto Júnior et al., 2014). Todavia, é essencial ampliar os estudos sobre o uso de espécies arbóreas nativas, buscando valorizar e ampliar as informações disponíveis sobre estas, de modo a viabilizar alternativas de componentes arbóreos nos sistemas de produção, além de promover a conservação. *Dipteryx alata* (Vog.) é uma espécie nativa do Cerrado brasileiro promissora para cultivo em sistemas integrados, destacando-se por possuir madeira de alta densidade com múltiplos usos, e frutos com elevado poder nutritivo (Sano et al., 2004) e possibilidade de comercialização com taxa de crescimento estimada em aproximadamente 25% até 2029 (Fact.MR, 2019).

Dependendo do tipo de manejo adotado, os solos podem manter, melhorar ou piorar suas propriedades químicas, físicas e biológicas, as quais refletem sua capacidade produtiva (Silva e Araújo, 2005), sendo necessário avaliar e monitorar o impacto que essas alterações de manejo suscitam na qualidade do solo ao longo dos anos, de modo a identificar a sustentabilidade dos sistemas adotados. Desta forma, objetivou-se avaliar o impacto de *Eucalyptus* e *D. alata* em sistemas de ILPF, após um ano de implantação, nos atributos físico-químicos e estoques de carbono em um Cambissolo no Cerrado brasileiro.

4.2 Material e métodos

4.2.1. Histórico e descrição das áreas experimentais

O estudo foi desenvolvido em área do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia Goiano, no município de Iporá, Goiás, Brasil (16°25'14,97"S e 51°9'22,15"W), com elevação de 600 m acima do nível do mar e vegetação típica de Cerrado. O clima é do tipo tropical semiúmido (Aw), segundo classificação de Köppen,

com duas estações bem definidas durante o ano: verão úmido, de dezembro a março, e inverno seco, apresentando pluviosidade média anual de 1617 mm (Alves, 2011). O solo da área de estudo é classificado como Cambissolo Háplico distrófico (Cambisols na classificação WRB) (Santos et al., 2018), marcado por limitações de cultivo agrícola, principalmente relacionadas com a baixa fertilidade natural, baixa capacidade de retenção de água, e elevada presença de cascalho, dificultando a mecanização (Figura 1).



Figura 1. (A) Detalhe do cascalho presente no Cambissolo háplico presente na área de estudo. (B) Trincheira para coleta de amostras de solo até 1 metro de profundidade, em Iporá, Goiás, Brasil.

Foram avaliados os sistemas de ILPF com eucalipto (*Eucalyptus urograndis* clone I144 - *Eucalyptus urophylla* S.T.Blake X *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden) (E) e baru (*Dipteryx alata*) (D), na linha de árvores (0), e entrelinha de árvores a 5 metros da linha (5), constituindo, respectivamente, os seguintes tratamentos: ILPF-E0, ILPF-E5, ILPF-D0, ILPF-D5. Uma área de pastagem de baixa produtividade (P-BP) foi utilizada como referência para comparação com os sistemas ILPF, uma pastagem cultivada (PC) e um fragmento de mata nativa de Cerrado (MN) (Figura 2). A textura (granulometria) do solo para as diferentes áreas é apresentada na Tabela 1, conforme o triângulo textural que considera o balanço entre os teores de areia, silte e argila determinados em laboratório (Lemos e Santos, 1996).

A área de MN foi constituída por um fragmento remanescente de área de Cerrado nativo, enquanto a área de P-BP foi ocupada com forragem do gênero

Brachiaria há mais de 20 anos, e desde então está em constante pastejo por bovinos, sem manejo da fertilidade do solo.

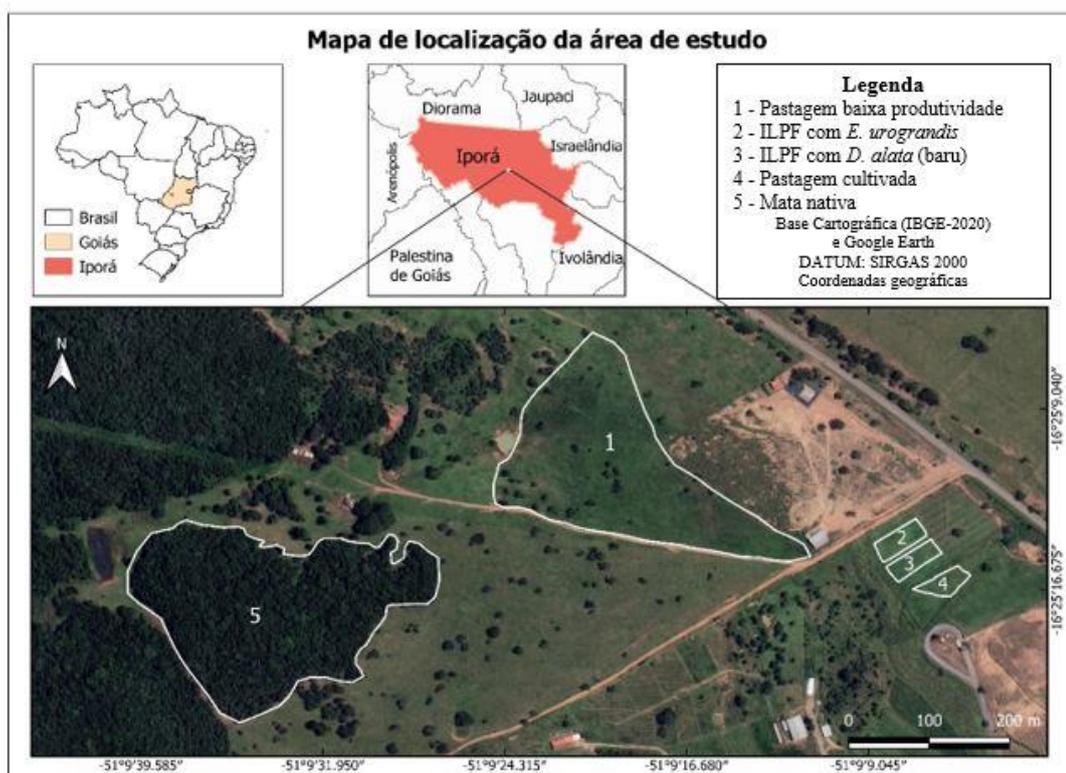


Figura 2. Localização do município Iporá e locação das áreas de pastagem de baixa produtividade (P-BP), dos sistemas ILPF com eucalipto (ILPF-E0, ILPF-E5) e baru (ILPF-D0, ILPF-D5), da pastagem cultivada (PC) e mata nativa (MN) em Iporá, Goiás, Brasil.

Tabela 1. Textura de um Cambissolo háplico de Cerrado sob pastagem de baixa produtividade (P-BP), com sistemas ILPF com eucalipto (ILPF-E0, ILPF-E5) e baru (ILPF-D0, ILPF-D5), pastagem cultivada (PC) e mata nativa (MN), até 1 m de profundidade, em Iporá, Goiás, Brasil.

Uso da terra	Argila	Silte	Areia	Proporção de cascalho	Classificação textural do solo
g kg ⁻¹					
0,0 – 0,30 m					
P-BP	376	141	483	0.37	Argilo arenoso
ILPF-E0	208	156	636	0.55	Franco-argiloso arenoso
ILPF-E5	176	152	672	0.58	Franco-arenoso
ILPF-D0	346	141	513	0.47	Franco -argiloso arenoso
ILPF-D5	390	166	444	0.49	Argilo-arenoso
PC	259	196	545	0.59	Franco-argiloso arenoso
MN	205	185	610	0.51	Franco-argiloso arenoso
0,30 – 1,00 m					

P-BP	457	192	350	0.33	Argila
ILPF-E0	412	219	369	0.54	Argila
ILPF-E5	424	183	393	0.56	Argila
ILPF-D0	488	209	303	0.41	Argila
ILPF-D5	473	190	337	0.39	Argila
PC	424	253	323	0.51	Argila
MN	325	262	412	0.55	Franco-argiloso
0,0 – 1,00 m					
P-BP	419	171	410	0.35	Argila
ILPF-E0	324	192	484	0.54	Franco-argiloso arenoso
ILPF-E5	317	170	513	0.57	Franco-argiloso arenoso
ILPF-D0	427	180	393	0.44	Argila
ILPF-D5	437	180	383	0.43	Argila
PC	349	230	422	0.55	Franco-argiloso
MN	274	228	498	0.53	Franco-argiloso arenoso

No passado, as áreas de ILPF e PC eram utilizadas como pastagem, consistindo em área semelhante a P-BP, as quais foram cultivadas na safra de 2016/2017 com soja (*Glycine max* L. Merrill) com sobressemeadura de capim-xaraés (*Urochloa brizantha* (Syn. *Brachiaria brizantha*) cv. Xaraés). Na safra de 2017/2018 fez-se plantio direto de consórcio triplo de milho + *U. brizantha* cv. Xaraés + feijão guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) para silagem, com posterior pastejo por bovinos, seguido de pousio com a *Brachiaria*. Em outubro de 2018, uma parte da área foi dessecada e utilizada para implantação dos sistemas de ILPF, sendo cultivado nos entre renques milho (*Zea mays* L. cv. ‘SCS Colorado’) consorciado com capim-quênia (*Megathyrus maximus* (Syn. *Panicum maximum*) cv. BRS Quênia), e a outra parte da área manteve com o capim-xaraés, sendo manejada adequadamente e pastejada por bovinos.

Antes da instalação das áreas de ILPF, foi realizada a correção do solo com a aplicação de 2500 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico em área total. No plantio foi realizada aplicação de 16,5 g de N e 78 g de P₂O₅ por cova, e na adubação de cobertura foi aplicado 30 g de N, 20 g de K₂O, 1,7 g de boro por árvore.

O transplântio das mudas de *D. alata* e do híbrido clonal de *E. urograndis* (clone I144) foi realizado no final de outubro de 2018, em linhas simples, com espaçamento de 2 metros entre plantas de *E. urograndis* e 3 metros entre plantas de *D. alata*, pois, recomenda-se espaçamentos mais amplos para a plena expansão das copas

destas (Bruziguessi et al. 2021). O espaçamento entre renques arbóreos (linhas) foi de 10 metros, dispostos no sentido Leste-Oeste (Cordeiro et al., 2015), para permitir maior luminosidade nas entrelinhas com o crescimento futuro das árvores. Além disso, no período de entressafra, foram instaladas cercas elétricas paralelas às linhas de árvores, e a área de entre renque utilizada para pastejo por vacas leiteiras não lactantes, que foram utilizadas apenas para controle da biomassa, não sendo avaliadas variáveis relacionadas ao componente pecuário neste trabalho.

4.2.2. Amostragem de solo e análises laboratoriais

Aos 12 meses após a implantação do ILPF foram coletadas amostras de solo para quantificação dos atributos químicos, físicos, carbono orgânico (COS) e estoque total de carbono (CT) e nitrogênio (NT) do solo. Foram utilizadas trincheiras para a coleta de amostras em sete profundidades (0,0-0,10 m, 0,10-0,20 m, 0,20-0,30 m, 0,30-0,40 m, 0,40-0,60 m, 0,60-0,80 m, 0,80-1,0 m). Considerar uma camada de pelo menos 1 metro ao avaliar o efeito do manejo no sistema de produção agrícola sobre o estoque de carbono do solo é necessário, sobretudo quando espécies arbóreas e forrageiras com sistemas radiculares profundos estão presentes (Oliveira et al., 2018). Apesar da baixa concentração de carbono orgânico (COS), as camadas de solo abaixo de 30 cm podem representar mais de 50% do total de C armazenado no solo (Soussana e Lemaire, 2014).

Nas áreas de ILPF, as trincheiras foram distribuídas horizontalmente em função dos renques de árvores, com coletas posicionadas na linha de árvores (0), e entrelinha de árvores a 5 metros da linha (5) (Figura 3), momento que o *E. urograndis* apresentava altura média de 1,72 m e *D. alata* de 0,66 m. Nas demais áreas, a amostragem ocorreu em trincheiras separadas aleatoriamente umas das outras por cerca de 20 metros. Todos os parâmetros avaliados foram calculados para as camadas de 0,0-0,3 m, 0,3-1,0 m e 0,0-1,0 m.

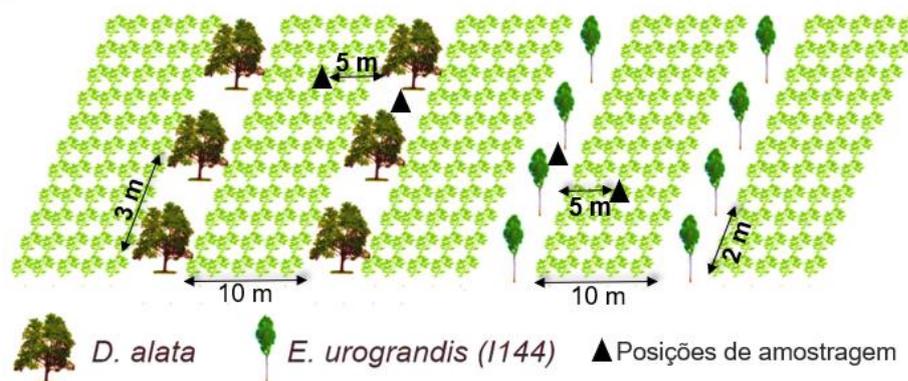


Figura 3. Posições de amostragem de solo na linha (0) e entrelinha (5) dos sistemas ILPF em Iporá, Goiás, Brasil.

As coletas de solo foram realizadas em quatro repetições de perfis de solo, sendo coletadas amostras deformadas para a caracterização química e granulométrica do solo (método da pipeta), analisadas pelo Laboratório de Análises Agroambiental da Embrapa Arroz e Feijão, seguindo metodologia do manual de métodos de análise de solos (Teixeira et al., 2017). O carbono orgânico do solo (COS) foi estimado pela oxidação da matéria orgânica com o dicromato de potássio, pelo método Walkley e Black (1934).

As amostras indeformadas, coletadas com anéis volumétricos no meio da faixa de cada profundidade, foram utilizadas para a avaliação da densidade do solo, porosidade (Teixeira et al., 2017), capacidade de aeração (Reynolds et al., 2002), e curva de retenção de água no solo (método da centrífuga) (Freitas Júnior e Silva, 1984) utilizando o modelo matemático proposto por van Genuchten (1980). A capacidade de água disponível foi calculada pela diferença entre o conteúdo de água no solo na tensão de 6 kPa (capacidade de campo) e o conteúdo de água na tensão de 1500 kPa (ponto de murcha permanente), multiplicado pela espessura da camada considerada (Andrade e Stone, 2011).

Utilizado para avaliação da qualidade física dos solos, o índice *S*, definido como a inclinação da curva de retenção de água no solo no seu ponto de inflexão, foi determinado segundo Dexter (2004). Para fazer adequação do índice *S* no diagnóstico da qualidade física de solos de Cerrado, Andrade e Stone (2009) estabeleceram o valor limite de $S = 0,045$ para a divisão entre solos de boa qualidade estrutural e solos com tendência a se tornar degradados, enquanto valores de $S \leq 0,025$ indicam solos inteiramente degradados fisicamente.

Para a análise de estoque total de C (CT) e N (NT) utilizou-se o método de análise elementar (CHN), baseado na oxidação a seco. Neste método, as amostras foram

moídas manualmente em porcelana graal, e depois peneiradas em peneira de 125 μm . A análise foi realizada em duplicata em aproximadamente 10 mg de solo, finamente moída e acondicionada em cápsula de estanho, sendo oxidada em alta temperatura (aproximadamente 1000°C por 2 minutos, em um tubo de combustão). Para cálculo dos estoques totais de C e N, considerou-se a densidade do solo corrigida para o teor de cascalho medido em cada profundidade. A correção da densidade visa controlar o efeito da textura sobre as possíveis variações no estoque de C do solo.

A seguir, o estoque de C e N foi calculado considerando o teor de C e N medido (%) e a densidade média (g cm^{-3}) da pastagem de baixa produtividade utilizada como referência para cada profundidade. O uso da densidade média da pastagem de baixa produtividade como referência para o cálculo do estoque de C e N total normaliza os dados e permite a comparação entre diferentes sistemas de uso da terra. O estoque de C e N total então foi calculado considerando a espessura de cada camada de amostragem de acordo com Oliveira et al. (2018) e Sisti et al. (2004).

4.2.3. Análises estatísticas

Para controlar o efeito de textura do solo sobre os tratamentos, o teor de cascalho e argila foi considerado como covariável na análise estatística. Considerando dois grupos: para teores de cascalho acima de 50% e abaixo de 50%. A covariável foi incluída como efeito aleatório e o tratamento como efeito fixo no modelo para cada camada de solo (0,0-0,3, 0,3-1,0 e 0,0-1,0 m). Nas análises foram considerados sete tratamentos (P-BP, ILPF-E0, ILPF-E5, ILPF-D0, ILPF-D5, PC e MN). O teste de Dunnett foi aplicado para analisar se houve diferenças significativas entre pastagem de baixa produtividade e os outros tratamentos: ILPF, pastagem cultivada e mata nativa. As análises foram realizadas utilizando o procedimento de modelo linear misto (Proc MIXED) do software estatístico SAS/STAT® (SAS Institute Inc., 2008).

4.3 Resultados

Os atributos físicos do solo no sistema ILPF com utilização da espécie nativa *D. alata* (ILPF-D0 e ILPF-D5) foram os que menos diferiram da pastagem de baixa produtividade (P-BP) em todas as camadas de solo avaliadas (Tabela 2). Nos tratamentos com *E. urograndis* (ILPF-E0 e ILPF-E5) houve mais diferenças da P-BP ao

se observar, na camada superficial (0 a 0,30 m), os resultados de porosidade (macro - MA, micro - MI e total - PT) e capacidade de aeração (CAS) (Tabela 2).

Tabela 2. Valores médios de densidade do solo (DS), porosidade total (PT), microporosidade (MI), macroporosidade (MA), capacidade de aeração do solo (CAS), capacidade de água disponível (CAD) e índice S sob pastagem de baixa produtividade (P-BP), sistemas ILPF com eucalipto (ILPF-E0, ILPF-E5) e baru (ILPF-D0, ILPF-D5), pastagem cultivada (PC) e mata nativa (MN), até 1 m de profundidade, em Cambissolo háplico em Iporá, Goiás, Brasil.

Uso da terra	DS Mg m ⁻³	PT m ³ m ⁻³	MI m ³ m ⁻³	MA m ³ m ⁻³	CAS	CAD mm	S
0,0 – 0,30 m							
P-BP	1,47	0,45	0,25	0,20	0,45	0,55	0,033
ILPF-E0	1,37**	0,49**	0,17***	0,31***	0,66***	0,52 ns	0,062****
ILPF-E5	1,42 ns	0,47 ns	0,19***	0,28***	0,60***	0,60 ns	0,052***
ILPF-D0	1,57**	0,41**	0,25 ns	0,17 ns	0,41 ns	0,59 ns	0,030 ns
ILPF-D5	1,48 ns	0,44 ns	0,28 ns	0,16 ns	0,37 ns	0,69*	0,030 ns
PC	1,46 ns	0,45 ns	0,20**	0,25*	0,57**	0,55 ns	0,044**
MN	1,31***	0,51***	0,21*	0,30***	0,59***	0,63 ns	0,054****
0,30 – 1,00 m							
P-BP	1,38	0,48	0,31	0,18	0,37	0,71	0,037
ILPF-E0	1,40 ns	0,47 ns	0,25***	0,22 ns	0,49*	0,54*	0,038 ns
ILPF-E5	1,40 ns	0,47 ns	0,23***	0,24 ns	0,52**	0,53*	0,043 ns
ILPF-D0	1,38 ns	0,48 ns	0,34*	0,14 ns	0,30 ns	0,68 ns	0,033 ns
ILPF-D5	1,41 ns	0,47 ns	0,36**	0,11**	0,25**	0,62 ns	0,023**
PC	1,47 ns	0,45 ns	0,29 ns	0,16 ns	0,37 ns	0,63 ns	0,030 ns
MN	1,51**	0,43**	0,24***	0,19 ns	0,45 ns	0,65 ns	0,033 ns
0,0 – 1,00 m							
P-BP	1,41	0,47	0,27	0,19	0,42	0,63	0,036
ILPF-E0	1,38 ns	0,48 ns	0,21****	0,27***	0,57****	0,51 ns	0,048****
ILPF-E5	1,40 ns	0,47 ns	0,21****	0,26***	0,57****	0,55 ns	0,048****
ILPF-D0	1,46 ns	0,45 ns	0,30**	0,15***	0,35***	0,64 ns	0,033 ns
ILPF-D5	1,44 ns	0,46 ns	0,32****	0,13***	0,31****	0,65 ns	0,025**
PC	1,44 ns	0,46 ns	0,24***	0,21 ns	0,48**	0,58 ns	0,036 ns
MN	1,43 ns	0,46 ns	0,22****	0,24***	0,53***	0,61 ns	0,044**

Diferenças significativas entre as médias foram determinadas de acordo com o teste de Dunnett utilizando P-BP como referência. Os asteriscos indicam o valor nominal da significância (valor de p): **** p ≤ 0,0001; *** p ≤ 0,01; ** p ≤ 0,05; * p ≤ 0,1; ns: não significativo a p ≤ 0,1.

Os resultados das amostras de solo coletadas na linha de árvores de *E. urograndis* (ILPF-E0) apresentaram maior PT e menor densidade do solo (DS),

diferindo da P-BP. O mesmo não ocorreu nos resultados na linha de árvores de *D. alata* (ILPF-D0), que diferiram da P-BP apresentando menor valor de PT e maior DS.

A camada de 0,30 a 1,0 m apresentou pouca diferenciação dos atributos físicos entre os tratamentos estudados (Tabela 2). Destaca-se que nos sistemas com *E. urograndis* (ILPF-E0 e ILPF-E5) os microporos (MI), responsáveis pela retenção e armazenamento da água no solo, apresentaram menores valores, refletindo em menor capacidade de água disponível (CAD) nesta camada. A mata nativa (MN) também diferiu da P-BP, com valor de microporosidade semelhante aos tratamentos com eucalipto e, no entanto, sua CAD não foi influenciada, sugerindo maior utilização de água pelo eucalipto.

Considerando todo o perfil do solo (camada de 0 a 1,0 m), a DS, PT e CAD dos sistemas estudados não diferiu da P-BP, enquanto os atributos de MI, MA, CAS e índice S (S) apresentaram diferenças variadas em relação à P-BP. Analisando o índice S (Tabela 2), observa-se nos resultados obtidos neste estudo que, nas camadas de 0 a 0,30 m e 0 a 1,0 m, apenas os tratamentos com *E. urograndis* (ILPF-E0 e ILPF-E5) conseguiram se enquadrar como solos com boa qualidade física.

Com relação aos atributos químicos, o solo de todas as áreas avaliadas apresentou, na camada mais superficial (0 a 0,30 m), pH com acidez média (entre 5,0 e 5,9) mesmo nas áreas com adição de corretivo agrícola, com exceção da área de pastagem de baixa produtividade (P-BP) que apresentou pH ácido (Tabela 3).

Tabela 3. Valores médios de pH, matéria orgânica (MO), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) sob pastagem de baixa produtividade (P-BP), sistemas ILPF com eucalipto (ILPF-E0, ILPF-E5) e baru (ILPF-D0, ILPF-D5), pastagem cultivada (PC) e mata nativa (MN), até 1 m de profundidade, em Cambissolo háplico em Iporá, Goiás, Brasil.

Uso da terra	pH (H ₂ O)	MO (g kg ⁻¹)	P -----(mg dm ⁻³)-----	K -----	Ca -----(mmolc kg ⁻¹)-----	Mg -----
0,0 – 0,30 m						
P-BP	4,98	16,25	1,01	70,25	2,71	1,51
ILPF-E0	5,55***	14,38 ns	3,13 ns	151,42**	9,02*	3,87**
ILPF-E5	5,72***	17,23 ns	8,83*	244,42*****	13,25****	7,00*****
ILPF-D0	5,36**	16,26 ns	5,93 ns	101,84 ns	7,99 ns	4,58***
ILPF-D5	5,00 ns	17,93 ns	2,62 ns	119,92 ns	6,33 ns	3,22 ns
PC	5,93*****	17,36 ns	7,74*	172,25 ***	17,75*****	9,46*****
MN	5,40**	27,28*****	5,75 ns	207,25 ***	23,18*****	11,71*****

Erro padrão	0,1559	1,9801	3,2518	35,2821	3,0812	1,0073
0,30 – 1,00 m						
P-BP	5,56	7,53	0,36	23,06	1,58	0,43
ILPF-E0	5,46 ns	6,30 ns	0,27 ns	37,38 ns	1,93 ns	1,43 ns
ILPF-E5	5,45 ns	6,36 ns	0,34 ns	92,19****	2,79 ns	2,21*
ILPF-D0	5,62 ns	5,29 ns	0,05**	32,44 ns	2,16 ns	1,15 ns
ILPF-D5	5,48 ns	5,74 ns	0,27 ns	20,56 ns	2,23 ns	1,13 ns
PC	5,60 ns	5,11 ns	0,56 ns	53,31 ns	2,29 ns	1,64 ns
MN	5,58 ns	7,64 ns	0,72***	168,19*****	5,78*	3,61***
Erro padrão	0,1207	1,4989	0,1209	22,8694	1,5515	0,8969
0,0 – 1,00 m						
P-BP	5,31	11,26	0,64	43,29	2,06	0,90
ILPF-E0	5,50 ns	9,77 ns	1,49 ns	86,25*	4,96 ns	2,47*
ILPF-E5	5,56**	11,02 ns	3,98**	157,43*****	7,27**	4,27***
ILPF-D0	5,51 ns	9,99 ns	2,57 ns	62,18 ns	4,66 ns	2,62**
ILPF-D5	5,28 ns	10,96 ns	1,28 ns	63,15 ns	3,98 ns	2,03 ns
PC	5,74***	10,35 ns	3,63**	104,29**	8,92***	4,99*****
MN	5,51 ns	16,06***	2,88 ns	184,93*****	13,24*****	7,08*****
Erro padrão	0,1195	1,3618	1,4118	22,7213	2,0949	0,7921

Diferenças significativas entre as médias foram determinadas de acordo com o teste de Dunnett utilizando P-BP como referência. Os asteriscos indicam o valor nominal da significância (valor de p): ***** $p \leq 0,0001$; *** $p \leq 0,01$; ** $p \leq 0,05$; * $p \leq 0,1$; ns: não significativo a $p \leq 0,1$.

Os maiores valores de pH observados no ILPF com *E. urograndis* (ILPF-E0 e ILPF-E5) e na pastagem cultivada (PC) acompanham a redução da solubilidade de Al^{3+} (forma tóxica) e da acidez potencial (H+Al) observadas nestes tratamentos (Tabela 3), influenciando nos teores de nutrientes do solo.

De modo geral, na camada de 0 a 0,30 m, após um ano de implantação, é possível observar que os atributos químicos dos sistemas ILPF com utilização da espécie nativa *D. alata* (ILPF-D0 e ILPF-D5) foram os que menos apresentaram diferença da área de pasto não cultivado tomado como referência (Tabelas 3 e 4). Apenas as variáveis pH e Mg na linha de árvores (ILPF-D0) (Tabela 3), e a acidez potencial, teores de Cu e Fe nas linhas e entrelinhas das árvores (ILPF-D0 e ILPF-D5) diferiram da pastagem de baixa produtividade (P-BP). Apesar de poucos atributos

químicos dos sistemas ILPF com utilização da espécie nativa *D. alata* (ILPF-D0 e ILPF-D5) diferirem da pastagem de baixa produtividade (P-BP), é notório que nesta camada houve incremento de teores dos nutrientes no solo, devido a adubação realizada.

Tabela 4. Valores médios de alumínio (Al), acidez potencial (H+Al), cobre (Cu), zinco (Zn), ferro (Fe) e manganês (Mn) sob pastagem de baixa produtividade (P-BP), sistemas ILPF com eucalipto (ILPF-E0, ILPF-E5) e baru (ILPF-D0, ILPF-D5), pastagem cultivada (PC) e mata nativa (MN), até 1 m de profundidade, em Cambissolo háplico em Iporá, Goiás, Brasil.

Uso do solo	Al -----($\text{mmol}_c \text{kg}^{-1}$)-----	H+Al	Cu	Zn	Fe	Mn
-----(mg dm^{-3})-----						
0,0 – 0,30 m						
P-BP	5,42	31,59	0,17	0,52	38,28	11,03
ILPF-E0	3,50*	23,67***	0,34***	1,67 ns	22,73**	26,48***
ILPF-E5	1,17***	20,75****	0,37***	3,31***	20,25***	38,67****
ILPF-D0	4,50 ns	26,25***	0,26*	0,53 ns	27,57**	11,95 ns
ILPF-D5	5,50 ns	27,17**	0,26*	0,63 ns	28,49**	12,36 ns
PC	0,67***	15,92****	0,44****	4,27***	34,55 ns	32,30***
MN	1,42***	25,84***	0,20 ns	2,44**	28,65**	53,07****
Erro padrão	1,0853	1,7097	0,0492	0,8432	4,2868	4,7661
0,30 – 1,00 m						
P-BP	1,88	22,00	0,09	0,18	15,97	4,81
ILPF-E0	9,63***	20,19 ns	0,18***	0,14 ns	18,08 ns	8,04**
ILPF-E5	7,31**	19,25*	0,17**	0,09 ns	18,21 ns	9,23***
ILPF-D0	4,94 ns	19,94 ns	0,11 ns	0,12 ns	19,21 ns	4,11 ns
ILPF-D5	3,81 ns	18,94*	0,10 ns	0,10 ns	22,58**	4,30 ns
PC	8,19***	14,81***	0,12 ns	0,33 ns	21,37*	7,12 ns
MN	6,06*	20,75 ns	0,15**	0,53***	23,04**	14,92****
Erro padrão	2,0368	1,5123	0,0268	0,0881	2,7554	1,4965
0,0 – 1,00 m						
P-BP	3,39	26,11	0,13	0,32	25,53	7,47
ILPF-E0	7,00**	21,68***	0,24***	0,80 ns	20,08*	15,94***
ILPF-E5	4,68 ns	19,89***	0,25***	1,47***	19,08**	21,84****
ILPF-D0	4,75 ns	22,65**	0,18 ns	0,30 ns	22,79 ns	7,47 ns
ILPF-D5	4,54 ns	22,47**	0,17 ns	0,33 ns	25,11 ns	7,75 ns

PC	4,97 ns	15,29****	0,26***	2,02***	27,02 ns	17,91***
MN	4,07 ns	22,93**	0,17 ns	1,34**	25,45 ns	31,27****
Erro padrão	1,3636	1,3750	0,0317	0,3627	2,9463	2,3130

Diferenças significativas entre as médias foram determinadas de acordo com o teste de Dunnett utilizando P-BP como referência. Os asteriscos indicam o valor nominal da significância (valor de p): **** $p \leq 0,0001$; *** $p \leq 0,01$; ** $p \leq 0,05$; * $p \leq 0,1$; ns: não significativo a $p \leq 0,1$.

Já os sistemas de ILPF com *E. urograndis* (ILPF-E0 e principalmente ILPF-E5) e a pastagem cultivada (PC) apresentaram maiores incrementos nos teores de vários nutrientes, diferindo da P-BP.

A área de mata nativa (MN) apresentou os maiores teores de matéria orgânica (MO). Observa-se que, em nenhuma das camadas avaliadas, nenhum sistema de uso da terra implantado foi capaz de incrementar os teores de MO a ponto de diferir da P-BP (Tabela 3).

Com relação a camada de 0,30 a 1,0 m, ocorreu pouca diferenciação dos atributos químicos em relação à pastagem de baixa produtividade (P-BP) (Tabelas 3 e 4). Nesta camada, destaca-se o maior teor de K e Mg no ILPF-E5.

Considerando o perfil completo do solo (camada de 0 a 1,0 m), observa-se de maneira geral que os atributos químicos dos sistemas ILPF-E5 e PC foram os que mais se diferiram da P-BP (Tabelas 3 e 4), demonstrando que estes foram os sistemas em que foram observadas melhorias químicas no Cambissolo a curto prazo.

O carbono orgânico do solo (COS) diferiu da P-BP apenas no tratamento ILPF-E5 e MN, observando os maiores incrementos nas camadas de 0,30 a 1,0 m e 0 a 1,0 m (Tabela 5).

Tabela 5. Valores médios de estoques totais de carbono (CT) e nitrogênio (NT), e carbono orgânico do solo (COS) sob pastagem de baixa produtividade (P-BP), sistemas ILPF com eucalipto (ILPF-E0, ILPF-E5) e baru (ILPF-D0, ILPF-D5), pastagem cultivada (PC) e mata nativa (MN), até 1 m de profundidade, em Cambissolo háplico em Iporá, Goiás, Brasil.

Uso da terra	CT	Erro	NT	Erro	COS	Erro
	Mg ha ⁻¹	padrão	Mg ha ⁻¹	padrão	g kg ⁻¹	padrão
0,0 – 0,30 m						
P-BP	18,57	(4,5923)	1,48	(0,3399)	26,33	(4,6180)
ILPF-E0	18,89 ns	(4,5923)	1,61 ns	(0,3605)	22,59 ns	(4,8982)
ILPF-E5	28,88**	(4,5923)	2,33**	(0,3605)	32,76 ns	(4,8982)

ILPF-D0	20,78 ns	(4,3297)	1,69 ns	(0,3399)	27,74 ns	(4,6180)
ILPF-D5	24,57 ns	(4,3297)	1,80 ns	(0,3399)	32,44 ns	(4,6180)
PC	22,31 ns	(4,5923)	1,93 ns	(0,3605)	29,72 ns	(4,8982)
MN	28,66**	(4,3297)	2,31**	(0,3605)	42,10***	(4,8982)
0,30 – 1,00 m						
P-BP	19,12	(4,9423)	1,55	(0,3988)	19,29	(6,8378)
ILPF-E0	21,64 ns	(5,1387)	1,86 ns	(0,3988)	28,58 ns	(6,8378)
ILPF-E5	28,45 ns	(5,1387)	2,32 ns	(0,3988)	36,94**	(6,8378)
ILPF-D0	14,59 ns	(4,8750)	1,19 ns	(0,3784)	17,15 ns	(6,4869)
ILPF-D5	15,04 ns	(4,8750)	1,06 ns	(0,3784)	18,37 ns	(6,4869)
PC	16,91 ns	(4,9423)	1,64 ns	(0,3836)	21,34 ns	(6,5763)
MN	24,35 ns	(5,1387)	2,06 ns	(0,3836)	32,15*	(6,5763)
0,0 – 1,00 m						
P-BP	39,81	(8,4276)	3,16	(0,6624)	48,35	(9,9683)
ILPF-E0	39,92 ns	(8,7626)	3,46 ns	(0,6887)	51,31 ns	(10,3645)
ILPF-E5	56,73*	(8,7626)	4,63*	(0,6887)	69,84*	(10,3645)
ILPF-D0	35,37 ns	(8,3130)	2,88 ns	(0,6534)	44,89 ns	(9,8326)
ILPF-D5	39,61 ns	(8,3130)	2,86 ns	(0,6534)	50,81 ns	(9,8326)
PC	38,99 ns	(8,7626)	3,56 ns	(0,6887)	52,34 ns	(10,3645)
MN	54,15 ns	(8,4276)	4,46*	(0,6624)	75,99**	(9,9683)

Diferenças significativas entre as médias foram determinadas de acordo com o teste de Dunnett utilizando P-BP como referência. Os asteriscos indicam o valor nominal da significância (valor de p): **** $p \leq 0,0001$; *** $p \leq 0,01$; ** $p \leq 0,05$; * $p \leq 0,1$; ns: não significativo a $p \leq 0,1$.

Por ocasião dessas avaliações iniciais nos sistemas de integração, o ILPF com eucalipto foi o que apresentou maior incremento de COS (Tabela 5), enquanto o ILPF com *D. alata* ainda não interferiu significativamente.

Com relação aos estoques totais de C (CT) e N (NT) do solo, observa-se que o entre renque de eucalipto (ILPF-E5) diferiu da P-BP, assemelhando-se ao estoque de C e N da área de mata nativa nas camadas de 0 a 0,30 m e 0 a 1,0 m (Tabela 5).

4.4 Discussão

A ausência de diferença estatística observada na avaliação dos atributos físicos do solo entre o sistema ILPF com utilização da espécie nativa *D. alata* (ILPF-D0 e ILPF-D5) e a pastagem de baixa produtividade (P-BP) em todas as camadas de solo avaliadas (Tabela 2), possivelmente se deve ao menor crescimento de *D. alata* quando

comparado ao crescimento do *E. urograndis*. Um estudo de Reis et al. (2006) observou que o sistema radicular de um híbrido clonal de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, com 6 meses de implantação, apresentou comprimento médio de raízes de 0,80 m, demonstrando que essas plantas exploram rapidamente grande volume de solo. A literatura carece de informações acerca do crescimento radicular de *D. alata*, mas sua velocidade de crescimento é caracterizada como lenta (Campos Filho e Sartorelli, 2015; Lorenzi, 2008).

Sistema radicular bem desenvolvido favorece a agregação do solo e o maior aporte de matéria orgânica pelo sistema radicular, tendo aumento da porosidade do solo e, conseqüentemente, redução nos valores de densidade do solo (Loss et al., 2011). Estudo de Rocha et al. (2015) concluiu que a influência das árvores de eucalipto, por meio do aporte de serapilheira e do sistema radicular, teve destacada importância para a melhoria da condição física do solo, promovendo o aumento da porosidade e a redução da densidade do solo. Resultado semelhante foi observado no presente estudo, podendo inferir que os tratamentos com *E. urograndis* (ILPF-E0 e ILPF-E5) afetaram positivamente as propriedades físicas do solo.

Os benefícios do maior desenvolvimento de raízes ficam evidentes nos tratamentos com *E. urograndis* (ILPF-E0 e ILPF-E5) que foram os que mais diferiram da P-BP na camada superficial (0 a 0,30 m). A macroporosidade é diretamente proporcional à CAS, sendo constituída por poros responsáveis pela troca de oxigênio e CO₂ entre a atmosfera e o solo (Ferreira, 2010), conferindo maior capacidade de atender a demanda respiratória dos micro-organismos do solo. Essa maquinaria biológica do solo apresenta estreita relação com os componentes físicos e químicos, os quais influenciam em conjunto na produtividade e sustentabilidade dos sistemas agrícolas, e também em suas funções ecológicas e serviços ambientais (Mendes et al., 2018).

Por outro lado, a PT é inversamente proporcional à densidade do solo (DS) (Ferreira, 2010), comumente utilizada como indicador da compactação. O menor valor de PT e maior DS observado na linha de árvores de *D. alata* (ILPF-D0) demonstram, porventura, que o crescimento do sistema radicular e a deposição de biomassa dessa espécie florestal ainda não foi capaz de promover incrementos marcantes na porosidade do solo e, conseqüentemente, auxiliar na diminuição da densidade.

Os menores valores de microporos e capacidade de água disponível (CAD) na camada de 0,30 a 1,0 m nos sistemas com *E. urograndis* (ILPF-E0 e ILPF-E5) (Tabela 2) sugerem maior utilização de água pelo eucalipto, visto que ocorre maior demanda de

água principalmente na fase inicial de crescimento das espécies florestais (Oleriano and Dias, 2007), enquanto as plantas da área de MN já têm seu crescimento estabilizado.

Além disso, os eucaliptos possuem crescimento muito rápido em relação às espécies nativas, fazendo com que a sua demanda por água seja maior, embora a eficiência no aproveitamento da mesma seja melhor (Oleriano e Dias, 2007). Com sistema radicular mais extenso, explorando volume maior de solo, há o favorecimento da extração de água. A absorção de água também causa secamento na região adjacente às raízes, promovendo aumento na força de coesão entre as partículas (Zonta et al., 2006).

Utilizado para avaliar a qualidade física do solo, Dexter (2004) afirma que maiores valores de S (maior inclinação) indicam melhor distribuição do tamanho de poros, refletindo em boa qualidade estrutural do solo, possibilitando a comparação de diferentes solos e dos efeitos de diferentes práticas de manejo na qualidade física destes. O resultado que apenas os tratamentos com *E. urograndis* (ILPF-E0 e ILPF-E5) serem enquadrados como solos com boa qualidade física evidencia o quanto a inserção desta espécie arbórea é benéfica para o sistema de produção no primeiro ano de implantação, visto que a degradação da estrutura do solo pode comprometer o desenvolvimento das plantas e, por conseguinte, a produção agrícola da área (Richart et al., 2005).

Os valores de pH observados são uma condição característica dos solos da região de estudo, sendo observados resultados semelhantes de pH em estudos com ILPF (Stieven et al., 2018). De maneira geral, o maior incremento nos teores de nutrientes no tratamento ILPF-E5 em relação à ILPF-E0, assemelhando-se à PC, pode ser explicada pela presença dos animais, com manejo adequado do pastejo nestas áreas. Os animais influenciam a ciclagem e a distribuição dos nutrientes no solo, via desfolha das plantas, e o seu retorno para o solo por meio de excrementos, como esterco e urina (Carpinelli et al., 2020; Pauletti e Motta, 2019).

Apesar do tratamento ILPF-D5 também ter sido pastejado, levanta-se a hipótese de que as árvores de eucalipto, pelo seu maior crescimento e porte, podem proporcionar um microclima mais favorável no entre renque (ILPF-E5), como maior umidade e menores temperaturas do solo, favorecendo os micro-organismos edáficos. A microbiota do solo é a principal responsável pela decomposição dos resíduos orgânicos, pela ciclagem de nutrientes e pelo fluxo de energia no solo, podendo ter influência tanto na transformação da matéria orgânica, quanto na estocagem do carbono e nutrientes minerais (Jenkinson e Ladd, 1981).

Em contrapartida, o efeito na PC que não contém o componente arbóreo, pode ser explicado em virtude desta área estar em seu 3º ciclo produtivo com o capim-xaraés. Sabendo que qualquer alteração no solo pode alterar diretamente sua atividade biológica (Carneiro et al., 2009), a manutenção da forrageira por maior período pode ter favorecido a atividade de micro-organismos, e a manutenção da rede de hifas de fungos micorrízicos arbusculares (Cordeiro et al., 2005), enquanto as áreas de ILPF passaram por dessecação da forrageira e posterior preparo do solo para implantação dos sistemas. Apesar da área de ILPF com eucalipto também ter passado por alterações de manejo, o rápido desenvolvimento desta arbórea pode ter conseguido já no primeiro ano de implantação do sistema promover melhorias nas condições microclimáticas da área, favorecendo os micro-organismos e conseqüentemente a fertilidade do Cambissolo estudado.

Os maiores teores de MO observados na MN era presumível, uma vez que a ausência de mobilização do solo e o constante aporte de resíduos vegetais contribuem para esse resultado (Carneiro et al., 2009). O fato de nenhum sistema de manejo implantado ter proporcionado incremento significativo nos teores de MO era esperado por se tratar de sistemas recém-implantados e, portanto, pouco tempo para deposição e mineralização da matéria orgânica. Resultados semelhantes foram encontrados por Diel et al. (2014), não observando diferenças significativas nos teores de MO ao longo das distâncias do renque das árvores no segundo ano agrícola, após implantação do experimento, por Stieven et al. (2018), em que os sistemas de ILPF linha simples mantiveram os teores de MO nos três anos avaliados, e por Souza et al. (2019), que não encontraram diferenças na MO em sistemas de ILPF, com 1 e 3 renques de árvores, a cerca de 5 anos após a implantação.

Trabalhos realizados com sistemas integrados constataram acréscimo de MO no decorrer dos anos de implantação do sistema (Bonini et al., 2016; Coser et al., 2018), e espera-se o mesmo comportamento dos sistemas ILPF em estudo, entretanto, o tempo de avaliação para esta verificação deverá ser maior, sendo estes resultados iniciais fundamentais para acompanhamento da qualidade do solo com o passar dos anos.

O maior teor de K e Mg no ILPF-E5, na camada de 0,30 a 1,00 m, é justificado por ser o tratamento que apresentou maiores teores destes nutrientes na camada superficial. Por serem elementos móveis, este acaba percolando no solo e atingindo maiores profundidades, podendo ter sido intensificada pela presença de dejetos animais na área (Piva et al., 2013). Tal efeito não foi observado no entre renque de *D. alata*

(ILPF-D5) que também foi pastejado. Isto possivelmente se deve pela reduzida altura média desta espécie arbórea, que ainda não interferiu no microclima dos entre renques, de modo a favorecer a microbiota de solo e conseqüentemente a ciclagem de nutrientes e, posteriormente, o deslocamento destes para camadas subsuperficiais do solo.

Marin et al. (2006) correlacionaram o acúmulo de COS com o aporte de resíduos orgânicos sobre o solo. Adicionalmente, sistemas integrados de produção agropecuária podem promover aumentos no conteúdo de COS devido a maior diversificação e produção de resíduos vegetais (Torres et al., 2014), como observado no ILPF-E5 e MN nas camadas de 0,30 a 1,00 m e 0 a 1,00 m (Tabela 5).

A decomposição do material orgânico depositado em um sistema é influenciada principalmente pelos micro-organismos, por fatores de ordem climática, umidade, assim como a composição química dos resíduos vegetais integrados ao solo (Costa e Sangakkara, 2006). De acordo com Rodrigues et al. (2011), os micro-organismos de solo são muito sensíveis às pequenas variações microclimáticas (luminosidade, temperatura, umidade do solo, vento, calor). Desta forma, reforça-se a hipótese sugerida de que o rápido crescimento do *E. urograndis* conseguiu propiciar um microclima mais favorável no entre renque (ILPF-E5), que aliado a diversidade de biomassa, favoreceu os micro-organismos edáficos.

O sequestro de carbono orgânico no solo equivale a remoção do CO₂ da atmosfera e acumulação em pools de reserva de longo prazo (Nair et al., 2009), contribuindo, assim para a mitigação do aquecimento global (Lal, 2005), além de favorecer a produção agrícola, visto que solos com maior quantidade de C orgânico são, em geral, fisicamente mais estáveis do que os solos pobres em C (Conyers et al., 2015). Como o COS está diretamente ligado a qualidade do solo, sistemas produtivos que possibilitem maiores teores de COS, devem ser priorizados visando a sustentabilidade da área.

O incremento no estoque de C (CT) na camada superficial difere do que foi observado por Oliveira et al. (2018), em que ocorreu maior porcentagem de estoque de C abaixo de 30 cm de solo. Esta diferença pode estar relacionada ao tempo de implantação, visto que estes autores fizeram avaliação após três anos de implantação do ILPF.

Vale salientar a tendência que os sistemas implantados (ILPF-D0 e ILPF-D5) demonstraram em aumentar os estoques de C e N na camada mais superficial (0 a 0,30 m) comparado com a P-BP (Tabela 5). Tal resultado demonstra o quanto a adoção dos

sistemas integrados é ambientalmente promissora na região de estudo, evidenciando que, já no primeiro ano de implantação, é possível incrementar o estoque de C no solo, confirmando o potencial desse sistema produtivo para mitigar as emissões de GEE.

Devido ao conhecido papel das árvores para o sequestro de carbono e consequente mitigação da emissão dos GEE, os sistemas ILPF são considerados relevantes para a região do Cerrado (Franchini et al., 2010). Esses sistemas são muito importantes para a mitigação e/ou compensação dos GEE emitidos pelo setor agropecuário brasileiro (Nair et al., 2011), e a arborização de pastagens pode contribuir para a captura de carbono e para a menor emissão de N₂O, pela melhoria de qualidade de vida dos animais, e para a mitigação da emissão de CH₄ pelos ruminantes (Porfírio-da-Silva, 2006). De acordo com Oliveira et al. (2017), a ILPF é um sistema de produção propício para alcançar produtividade satisfatória e compensar as emissões de GEE provenientes da atividade pecuária, proporcionando ainda balanço positivo de carbono.

Os resultados iniciais apresentados neste estudo demonstram que o sistema de ILPF com eucalipto é uma alternativa viável de sistema agrícola para Cambissolo nas condições edafoclimáticas estudadas, pois há a intensificação do uso da terra por meio das culturas integradas na mesma área, promovendo algumas melhorias nas propriedades físico-químicas do solo, além de proporcionar diversificação da renda do produtor e incremento do estoque de carbono no solo. Este, por sua vez, pode gerar créditos de carbono, e render pagamentos aos produtores por serviços ambientais, seja através no mercado de créditos de carbono, ou pela melhor remuneração pela produção de carne bovina produzida em sistemas com o selo de Carne Carbono Neutro (CCN) (Alves et al., 2018), pois as árvores no pasto garantem a neutralização das emissões de carbono dos animais, promovendo ganho ambiental, auxiliando o Brasil a cumprir suas metas de redução de emissão de gases de efeito estufa e minimizar seu impacto na mudança global do clima, além de acesso de venda em mercados consumidores mais exigentes.

4.5 Conclusão

A entrelinha do ILPF com *E. urograndis* (ILPF-E5) foi onde mais apresentou efeito nas características físico-químicas do solo, sendo observados incrementos significativos no estoque de carbono do solo no primeiro ano de implantação, com valores semelhantes aos encontrados na mata nativa.

O sistema ILPF com a espécie nativa *D. alata* ainda não interferiu marcadamente nos atributos químico-físicos do solo e estoque de carbono nesta fase de estabelecimento do ILPF, provavelmente em função de seu crescimento mais lento quando comparado ao eucalipto, necessitando de maior período de avaliação para avaliar seu efeito nas propriedades do solo.

Estes resultados são marco fundamental para monitorar o impacto que a adoção dos sistemas ILPF promoverão na qualidade do solo ao longo do tempo, possibilitando identificar sua sustentabilidade e contribuição no aporte de carbono no solo, minimizando seu impacto na mudança global do clima.

4.6 Referências bibliográficas

Alves EDL. Frequência e probabilidade de chuvas no município de Iporá-GO. *Caminhos Da Geogr.* 2011;12:65-72.

Alves FV, Almeida RG de, Laura VA, et al. 50 perguntas, 50 respostas sobre a Carne Carbono Neutro (CCN). Campo Grande: Embrapa Gado de Corte; 2018.

Andrade RS, Stone LF. Estimativa da umidade na capacidade de campo em solos sob Cerrado. *Rev Bras Eng Agrícola e Ambient.* 2011;15:111-6. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000200001>

Andrade RS, Stone LF. S index as an indicator of physical quality of Brazilian “Cerrado” soils. *Rev Bras Eng Agric e Ambient.* 2009;13:382-8. <https://doi.org/10.1590/s1415-43662009000400003>

Assis PCR, Stone LF, Medeiros JC, Madari BE, Oliveira J de M, Wruck FJ. Atributos físicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. *Rev Bras Eng Agrícola e Ambient.* 2015;19:309-16.

Bonini C dos SB, Lupatini GC, Andrighetto C, Mateus GP, Heinrichs R, Aranha AS, de Santana EAR, Meirelles GC. Produção de forragem e atributos químicos e físicos do solo em sistemas integrados de produção agropecuária. *Pesqui Agropecu Bras.* 2016;51:1695-8. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900070>

Bruziguessi EP, Silva TR, Moreira GDL de B, Vieira DLM. Sistemas silvipastoris com árvores nativas no cerrado. Brasília, DF: Mil Folhas do IEB; 2021.

Campos Filho EM, Sartorelli APR. Guia de árvores com valor econômico. São Paulo: Agroicone; 2015.

Carneiro CEA, Melém Júnior NJ, Azevedo MCB, Andrade EA, Kogishi MS, Diehl RC, Ricce W da S, Passarin AL, Vaz RH de M, Stelmachuk TL da L, Guimarães M de F, Ralisch R. Efeitos dos sistemas de manejo sobre o carbono orgânico total e carbono residual de um latossolo vermelho eutroférico. *Semin Ciências Agrárias.* 2009;30:5-10.

Carneiro MAC, Souza ED De, Reis EF dos, Pereira HS, Azevedo WR de. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Rev Bras Ciência Do Solo*. 2009;33:147-57.

Carpinelli S, Fonseca AF, Assmann TS, Pontes L da S. Effects of trees and nitrogen supply on macronutrient cycling in integrated crop–livestock systems. *Agron J*. 2020;112:1-14. <https://doi.org/10.1002/agj2.20099>

Conab CN de A. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. v.1, n.1. Brasília : Conab, 2013-: 2021.

Conyers M, Liu D, Kirkegaard J, Orgill S, Oates A, Li G, Poile G, Kirkby C. A review of organic carbon accumulation in soils within the agricultural context of southern New South Wales, Australia. *F Crop Res*. 2015;184:177-82. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.07.013>

Cordeiro LAM, Vilela L, Kluthcouski J, Marchão RL. Integração lavoura-pecuária-floresta: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Editores Técnicos. Brasília, DF: Embrapa, 2015.

Cordeiro MAS, Carneiro MAC, Paulino HB, Saggin-júnior OJ. Colonização e densidade de esporos de fungos micorrízicos em dois solos do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. *Pesqui Agropecuária Trop*. 2005;35:147-53.

Coser TR, de Figueiredo CC, Jovanovic B, Moreira TN, Leite GG, Cabral Filho SLS, Kato E, Malaquias JV, Marchão RL. Short-term buildup of carbon from a low-productivity pastureland to an agrisilviculture system in the Brazilian savannah. *Agric Syst*. 2018;166:184-95. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.01.030>

Costa WAJM, Sangakkara UR. Agronomic regeneration of soil fertility in tropical Asian smallholder uplands for sustainable food production. *J Agric Sci*. 2006;144:111-33. <http://dx.doi.org/10.1017/S002185960500585X>

Dexter AR. Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma*. 2004;120:201-14.

Diel D, Behling M, Farias Neto AL de, Isernhagen ECC. Distribuição horizontal e vertical de fósforo em sistemas de cultivos exclusivos de soja e de integração lavoura-pecuária-floresta. *Pesqui Agropecuária Bras*. 2014;49:639-47.

Embrapa. Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira. 2018:212

Fact.MR. Baru Nuts Market Forecast, Trend Analysis & Competition Tracking - Global Market Insights 2019 to 2029. 2019. [cited 2021 Nov 14]. Available from: <https://www.factmr.com/report/1362/baru-nuts-market>

Ferreira MM. Caracterização Física do Solo. In: Van Lier, QJ, editor. Física do solo. Viçosa: SBCS; 2010. p. 1-27.

Franchini JC, Debiasi H, Wruck FJ, Skorupa LA, Wink NN, Guisolphi IJ, Caumo AL, Hatori T. Integração lavoura pecuária: alternativa para diversificação e redução do impacto ambiental do sistema produtivo no Vale do Rio Xingu. Londrina: Embrapa

Soja, 2010. 20 p. (Circular Técnica, 77).

Freitas Júnior E, Silva EM. Uso da centrífuga para a determinação da curva de retenção de água no solo, em uma única operação. *Pesqui Agropecuária Bras.* 1984;19:1423-8.

Van Genuchten MT. A closed form equation for predicting the hydraulic properties of unsaturated soils. *Soil Sci Soc Am J.* 1980;44:892-8. <https://doi.org/10.2136/sssaj1980.03615995004400050002x>

Jenkinson DS, Ladd JN. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: Paul EA, Ladd JN, editors. *Soil Biology and Biochemistry: volume 5*, New York: Marcel Dekker, Inc.; 1981. p. 415-71.

Lal R. Forest soils and carbon sequestration. *For Ecol Manage.* 2005;220:242-58. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.08.015>

Lemos RC de, Santos RD dos. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 3. ed. Campinas-SP: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Centro Nacional de Pesquisa de Solos; 1996.

Lorenzi H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil, 1, 5ed. Nova Odessa-SP: Instituto Plantarum; 2008.

Loss A, Pereira MG, Giácomo SG, Perin A, Anjos LHC Dos. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. *Pesqui Agropecu Bras.* 2011;46:1269-76. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000022>

Machado LAZ, Balbino LC, Ceccon G. Integração lavoura-pecuária-floresta: estruturação dos sistemas de integração lavoura-pecuária. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2011. 46p. (Documentos, 110).

Marin AMP, Menezes RSC, Silva ED, Sampaio EVDSB. Efeito da *Gliricidia sepium* sobre nutrientes do solo, microclima e produtividade do milho em sistema agroflorestral no Agreste Paraibano. *Rev Bras Ciência Do Solo.* 2006;30:555-64.

Mendes IC, Sousa DMG, Reis Junior FB, Lopes AA de C. Bioanálise de solo: como acessar e interpretar a saúde do solo. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2018:23 (Circular Técnica, 38).

Nair PKR, Kumar BM, Nair VD. Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. *J Plant Nutr Soil Sci.* 2009;172:10-23. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/jpln.200800030>

Nair PKR, Tonucci RG, Garcia R, Nair VD. Silvopasture and carbon sequestration with special reference to the Brazilian savanna (Cerrado). In: Kumar BM, Nair PKR, editors. *Carbon sequestration potential of agroforestry systems: opportunities and challenges*. London: New York: Springer; 2011. p. 145-62.

Oleriano E dos S, Dias HCT. A dinâmica da água em microbacias hidrográficas reflorestadas com eucalipto. In: I Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: o Eucalipto e o Ciclo Hidrológico, Taubaté, SP.; 2007;

Taubaté, SP. 2007. p. 215-22.

Oliveira J de M, Madari BE, Carvalho MT de M, Assis PCR, Silveira ALR, Lima M de L, Wruck FJ, Medeiros JC, Machado PLO de A. Integrated farming systems for improving soil carbon balance in the southern Amazon of Brazil. *Reg Environ Chang*. 2018;18:105-16. <https://doi.org/10.1007/s10113-017-1146-0>

Oliveira PPA, Pezzopane JRM, Méo Filho P, Berndt A, Pedroso A de F, Bernardi ACC. Balanço e emissões de gases de efeito estufa em sistemas integrados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA, 1.; ENCONTRO DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NO SUL DO BRASIL, 4., Pato Branco, 2017, Palestras: intensificação com sustentabilidade.; 2017; Cascavel: UTFPR. 2017. p. 23-32.

Pauletti V, Motta ACV. Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná. 2 nd ed. Curitiba, PR, Brasil: SBCS - Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; 2019.

Pinto Júnior JE, Santarosa E, Goulart ICGR. Histórico do cultivo de eucalipto. In: Santarosa E, Penteado Júnior JFP, Goulart ICG dos R, editors. Transferência de tecnologia florestal - cultivo de eucalipto em propriedades rurais: diversificação da produção e renda. Brasília, DF: Embrapa; 2014. p. 11-2.

Piva JT, Moraes A de, Dieckow J, Porfirio-da-Silva V. Manejo do solo em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta no Centro-Sul do Paraná. In: REUNIÃO PARANAENSE DE CIÊNCIA DO SOLO, 3., 2013, Londrina. Sistemas conservacionistas de produção e sua interação com a ciência do solo: resumos. Londrina: IAPAR, 2013.; 2013; Londrina. 2013. p. 494-9.

Porfirio-da-Silva V. Arbonização de pastagens: I- Procedimentos para introdução de árvores em pastagens convencionais. Colombo: Embrapa Floresta, 2006. 8 p. (Comunicado Técnico, 155).

Portilho IIR, Crepaldi RA, Borges CD, da Silva RF, Salton JC, Mercante FM. Fauna invertebrada e atributos físicos e químicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. *Pesqui Agropecu Bras*. 2011;46:1310-20. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000027>

Reis GG dos, Reis MDGF, Fontan IDCI, Monte MA, Gomes AN, De Oliveira CHR. Crescimento de raízes e da parte aérea de clones de híbridos de *Eucalyptus grandis* X *Eucalyptus urophylla* e de *Eucalyptus camaldulensis* X *Eucalyptus* spp submetidos a dois regimes de irrigação no campo. *Rev Arvore*. 2006;30:921-31. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622006000600007>

Reynolds WD, Bowman BT, Crury CF, Tan CS, Lu X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. *Geoderma*. 2002;110:131-46.

Richart A, Tavares Filho J, Brito OR, Llanillo RF, Ferreira R. Compactação do solo: causas e efeitos. *Semin Ciências Agrárias*. 2005;26:315-38.

Rocha SP da, Prevedello J, Reinert DJ, Fleig FD, Vogelmann ES, Soares JCW, Heinz BB. Propriedades físicas do solo e crescimento de eucalipto implantado em diferentes métodos de preparo do solo. *Sci For*. 2015;43:965-77.

<https://doi.org/10.18671/scifor.v43n108.20>

Rodrigues HJB, Sá LD de A, Ruivo M de LP, Costa ACL, Silva RB, Moura QL, Mello IF. Variabilidade quantitativa de população microbiana associada às condições microclimáticas observadas em solo de floresta tropical úmida. *Rev Bras Meteorol.* 2011;26:629-38. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862011000400012>

Sano SM, Ribeiro JF, Brito MA de. Barú: biologia e uso. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004. 52 p. (Documentos, 116).

Santos HG, Jacomine PKT, Anjos LHC dos, Oliveira VÁ de, Lumbreras JF, Coelho MR, Almeida JA de, Araújo Filho JC de, Oliveira JB de, Cunha TJF. Sistema brasileiro de classificação de solos. 5. ed. rev. Brasília, DF: Embrapa; 2018.

SAS. SAS Institute Inc. SAS/STAT ®. User's guide, version 9.2. 2008.

Silva DJ, Araújo CA de S. Agricultura irrigada: a importância da adubação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., 2005, Recife. Anais... Recife: SBCS; Embrapa Solos - UEP Recife; UFRPE; 2005.

Sisti CPJ, Dos Santos HP, Kohhann R, Alves BJR, Urquiaga S, Boddey RM. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. *Soil Tillage Res.* 2004;76:39-58. <https://doi.org/10.1016/j.still.2003.08.007>

Soussana J-F, Lemaire G. Coupling carbon and nitrogen cycles for environmentally sustainable intensification of grasslands and crop-livestock systems. *Agric Ecosyst Environ.* 2014;190:9-17. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.10.012>

Souza JFD, Perusso RLS, Bonini CSB, Souza CT, Lupatini GC, Andrighetto C, Mateus GP, Pedro FG. Atributos físicos, matéria orgânica do solo e produção de capim marandu em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta. *Brazilian J Biosyst Eng.* 2019;13:51-64. <https://doi.org/10.18011/bioeng2019v13n1p51-64>

Stieven AC, Campos DT da S, Santos JO, Oliveira DA, Wruck FJ. Atributos químicos do solo em sistemas integrados. *Sci Amaz.* 2018;7:60-7.

Teixeira PC, Donagemma GK, Fontana A, Teixeira WG. Manual de métodos de análise de solo. editores técnicos. – 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2017.

Torres CMME, Jacovine LAG, Oliveira Neto SN, Brianezi D, Alves EBBM. Sistemas Agroflorestais no Brasil: Uma abordagem sobre a estocagem de carbono. *Pesqui Florest Bras.* 2014;34:235-44. <https://doi.org/10.4336/2014.pfb.34.79.633>

UNFCCC. Paris Agreement; 2015. [cited 2021 Jun 18]. Available from: https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf.

Vilela L, Martha Junior GB, Macedo MCM, Marchão RL, Guimarães Júnior R, Pulrolnik K, Maciel GA. Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. *Pesqui Agropecuária Bras.* 2011;46:1127-38.

Walkley A, Black IA. An examination of the Degtjareff method for determining soil

organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 1934;37:29-38.

WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. *World Soil Resources Reports No. 106.* FAO, Rome.; 2015.

Zonta E, Brasil F da C, Rocha JF, Santos LA, Ferreira LM, Tavares OCH, Pimentel RR, Rossiello ROP, Goi SR. O sistema radicular e suas interações com o ambiente edáfico. In: Fernandes MS, editor. *Nutrição mineral de plantas.* Viçosa: SBCS; 2006. p. 7-52.

CAPÍTULO II

Efeito da implantação de sistema de ILPF nos atributos edáficos e estoque de carbono em Latossolo no Cerrado

(Normas de acordo com a revista Pesquisa Agropecuária Tropical)

RESUMO

É crescente a demanda mundial por alimentos, e a busca por sistemas produtivos sustentáveis, sendo o sistema de integração lavoura, pecuária e floresta (ILPF) apontado como alternativa eficiente neste cenário. Assim, o objetivo do estudo foi avaliar propriedades químicas, físicas e estoque de C de um Latossolo sob sistema de ILPF em comparação a outros sistemas de uso da terra. No ILPF as coletas foram realizadas na linha do renque de árvores, e distantes 2,5 m e 5,0 m do renque. Os demais tratamentos consistiram em uma lavoura em monocultivo de milho, eucalipto em monocultivo, mata nativa típica do Cerrado e uma pastagem de baixa produtividade utilizada como referência. Amostras de solo foram coletadas em cada área nas camadas 0-0,10 m, 0,10-0,20 m, 0,20-0,30 m e 0,30-0,40 m de profundidade, para avaliação dos atributos químicos, físicos, estoque de carbono do solo e abundância natural do ^{13}C . As diferentes posições de avaliação no sistema ILPF demonstraram maiores diferenças nos atributos

químicos, não sendo capazes de inferir marcadamente ainda no estoque de C orgânico total do solo (SOC) e abundância natural do ^{13}C . O SOC do ILPF não diferiu da mata nas menores profundidades. Estes resultados são fundamentais para acompanhar o efeito que o sistema ILPF proporcionará no decorrer no tempo, com melhoria das propriedades físico-químicas do solo, incremento do SOC, e reduzindo o impacto da produção agropecuária na mudança global do clima.

PALAVRAS-CHAVE: Sistemas integrados, qualidade do solo, $\delta^{13}\text{C}$, carbono orgânico do solo, *Eucalyptus*.

5.1 INTRODUÇÃO

A demanda mundial por alimentos é crescente, impulsionando assim, a expansão das áreas agrícolas e o aumento da produtividade. Cresce também a pressão para uma agricultura de base sustentável (Smith et al. 2016). Dessa forma, a adoção de sistemas de integração como proposta de melhoria no aproveitamento da área de cultivo com variados componentes agrícolas, florestais e pecuários, aparece como alternativa viável (Romano 2010). Tais sistemas são caracterizados pela presença no tempo, e/ou no espaço, de diferentes espécies agrícolas, com a inserção de componentes das atividades pecuária e florestal. Estes sistemas têm sido estudados tanto considerando um modelo agrícola, como também um modelo de recuperação (principalmente de pastagens) e preservação dos recursos naturais (Barcellos et al. 2011).

A integração lavoura, pecuária e floresta (ILPF) pode oferecer uma série de vantagens em relação aos sistemas não integrados, como a melhoria na utilização de nutrientes e na estruturação do solo, pelo aporte de matéria orgânica (Silva et al. 2014), maior aproveitamento da água e geração de renda ao produtor, aumento da eficiência produtiva de proteína animal (Carvalho et al. 2019), diminuição da pressão sobre o

desmatamento, dentre inúmeras outras (Alvarenga et al. 2012).

Por conter diferentes espécies vegetais em associação com a presença de animais, esses sistemas têm apresentado comportamento diferenciado em relação ao monocultivo quanto aos aspectos químicos do solo (Alves et al. 2017). A presença de diferentes sistemas radiculares altera a dinâmica de exploração das raízes no solo, aumentando a capacidade de acessar nutrientes em camadas mais profundas e retornando estes as camadas mais superficiais e de fácil aquisição pelas culturas, além disso, os resíduos deixados na área, principalmente pelos animais, aceleram a ciclagem de nutrientes, tornando-os disponíveis às culturas subsequentes (Balbinot Junior et al. 2009, Zago et al. 2020).

Os solos do Cerrado são reconhecidos como “pobres” nutricionalmente, apresentando baixo pH (elevada acidez), alta concentração de alumínio (tóxico para a maioria das plantas cultivadas) e reduzida disponibilidade de nutrientes como o nitrogênio, o fósforo e o potássio que são essenciais para o crescimento das plantas (Carvalho et al. 2017). Assim, são necessárias correções com calcário e adubação fertilizante para tornar tais solos produtivos para as culturas agrícolas (Lepsch 2002). Este modelo de exploração que, após 3-4 anos de preparo com sucessivas gradagens para cultivo com grãos e sem rotação com plantas de cobertura para formação de palha, apresentam diminuição no teor de matéria orgânica (Jakab et al. 2019). A adoção de sistema plantio direto na palha, com terraceamento em nível, são essenciais para a conservação do solo e da água (Lampurlanés et al. 2016).

Neste sentido, a busca de alternativas de uso e manejo do solo que possam atrelar produtividade agrícola e conservação da água e do solo tem sido incentivada amplamente no mundo, e no Brasil por meio do plano para uma Agricultura de baixa emissão de carbono, o plano ABC (Brasil 2021). Nesse cenário, a possibilidade de uso

de sistemas de produção agropecuários integrados são alternativas interessantes que garantem a exploração agrícola e pecuária e, ao mesmo tempo, permite a presença de componentes florestais.

Diante do exposto, o objetivo do presente estudo foi avaliar as propriedades químicas, físicas, o estoque e origem do carbono orgânico de um Latossolo sob um sistema de integração lavoura, pecuária e floresta, com um ano de implantação, na região sul de Goiás.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

5.2.1 Descrição da área e histórico

O experimento foi conduzido no Instituto Federal Goiano - Campus Morrinhos, localizado no município de Morrinhos, Goiás, Brasil ($17^{\circ}49' S$ e $49^{\circ}12' W$) (Figura 1). A área possui altitude média de 900 m, clima Aw (tropical com inverno seco) e precipitação média anual de 1346 mm, segundo a classificação de Köppen-Geiger. O solo, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos é caracterizado como um Latossolo Vermelho distrófico (Santos et al. 2018).

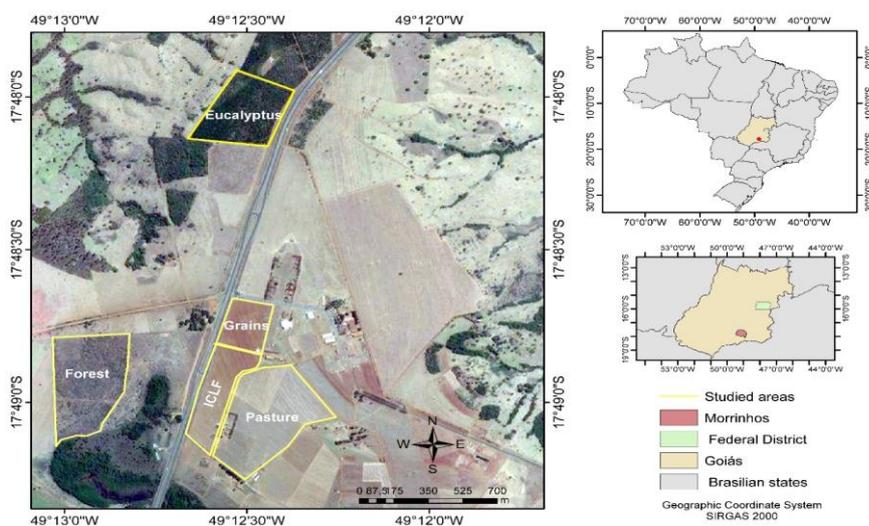


Figura 1. Localização de Morrinhos, Goiás, Brasil, e locação das áreas de ILPF (ICLF), pastagem de baixa produtividade (pasture), eucalipto em monocultivo (Eucalyptus), lavoura em monocultivo de milho (grains) e mata nativa (forest) onde o estudo foi realizado.

Os diferentes tipos de uso da terra analisados neste estudo são o sistema ILPF,

o monocultivo de milho, monocultivo de eucalipto, área de floresta nativa (remanescente de Cerrado) e pasto degradado (Figura 1), sendo descritos a seguir:

a) Integração Lavoura, Pecuária e Floresta (ILPF/ICLF), composto por árvores clonais de *Eucalyptus* (clone AEC 2034 – (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. x *Eucalyptus grandis*) x *Eucalyptus urophylla*), que foram transplantadas em janeiro de 2018, no arranjo de 10 metros de espaçamento entre renques e 4 metros entre plantas no renque, posicionados no sentido Leste-Oeste. A adubação por cova foi composta de 16,5 g de N e 78 g de P₂O₅ e 30 g de K₂O por cova, enquanto a adubação de cobertura foi realizada com 1,7 g de B por planta.

O solo onde o sistema ILPF foi implantado era ocupado por Cerrado nativo até os anos de 1960. A vegetação nativa foi substituída pelo plantio de cana-de-açúcar até os anos de 1980. Antes da implantação do sistema ILPF, a área foi utilizada para o plantio convencional (gradagem e aração) de soja na safra e milho na safrinha seguido de pousio. Nas safras dos anos 2015-2016 e 2016-2017 foi realizado plantio direto do milho.

b) Pastagem de baixa produtividade (pasture) corresponde a uma área de 25 hectares ocupada por pastagem, com o mesmo histórico da área com ILPF até a criação do IF Goiano em 1997, quando foi realizada correção da acidez do solo e semeadura a lanço da forragem do gênero *Brachiaria*, e desde então em constante pastejo.

c) Lavoura em monocultivo de milho (grains) corresponde a uma área de monocultivo com grãos, com o mesmo histórico da área com ILPF até a safra 2015-2016, desde quando vem sendo realizado o plantio direto do milho na safra seguido de pousio na entressafra.

d) Eucalipto em monocultivo (*Eucalyptus*) corresponde a uma área de 13 hectares de monocultivo de eucalipto, distante 900 m da área de ILPF. As árvores de

eucalipto tinham 12 anos de idade, plantadas em espaçamento de 3 x 3 m, com desbaste realizado aos 4 anos de implantação. Antes do monocultivo de eucalipto a área era ocupada por pastagem, que foi substituída por lavoura de soja durante 4 anos.

e) Mata nativa (forest) corresponde a uma área de 18 hectares de Cerrado, distante 370 m da área de ILPF. A fitofisionomia de Cerrado é definida como Formações Savânicas – Cerrado sentido restrito – Cerrado denso. É um subtipo de vegetação predominantemente arbóreo, com cobertura de 50% a 70% e altura média de cinco a oito metros. Representa a forma mais densa e alta de Cerrado sentido restrito. Os estratos arbustivo e herbáceo são menos adensados (Ribeiro & Walter 2008).

5.2.2 Amostragem de solo e análises laboratoriais

Em novembro de 2018 foram coletadas, em cada tratamento, amostras de solo nas camadas 0-0,10 m, 0,10-0,20 m, 0,20-0,30 m e 0,30-0,40 m de profundidade, com estrutura deformada e indeformada (anéis volumétricos), em 4 minitrincheiras separadas umas das outras por cerca de 30 metros. Para o sistema ILPF, a amostragem ocorreu 10 meses após o plantio das árvores no sistema, e predominava no momento da coleta a forrageira *Panicum maximum*, além de algumas plantas invasoras. Na área com ILPF as coletas foram realizadas na linha do renque 0 m (ICLF 0), e distantes a 2,5 m (ICLF 2,5) e 5,0 m (ICLF 5) do renque (Figura 2).

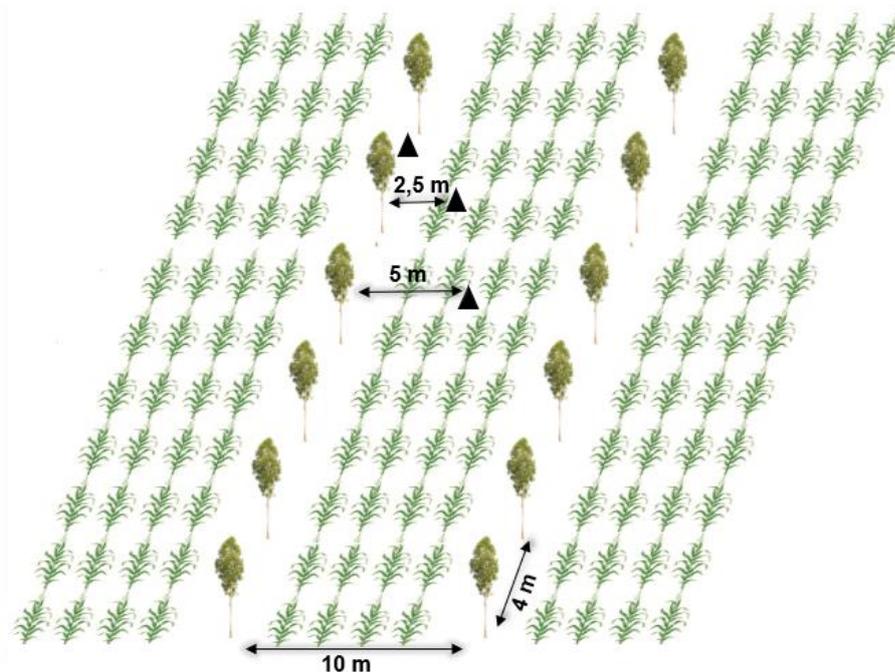


Figura 2. ▲ Posições de amostragem de solo na linha (0), distantes a 2,5 m (ICLF 2,5) e a 5,0 m (ICLF 5) do renque no ILPF em Morrinhos, Goiás, Brasil.

As amostras foram analisadas pelo Laboratório de Análises Agroambiental da Embrapa Arroz e Feijão, localizado em Santo Antônio de Goiás, de acordo com o manual de métodos de análise de solos (Teixeira et al. 2017).

As amostras deformadas foram secas ao ar e peneiradas (2 mm). A terra fina seca ao ar (TFSA) foi utilizada para a caracterização química e granulométrica do solo, com base em marchas analíticas também descritas em Teixeira et al. (2017). Na Tabela 1 é apresentada a composição granulométrica das áreas por profundidade, classificadas como argilosa conforme o triângulo textural. A matéria orgânica foi determinada com dicromato de potássio por colorimetria, pelo método descrito por Walkley e Black (1934).

Tabela 1. Caracterização granulométrica das camadas do Latossolo Vermelho, sob ILPF (ICLF), pastagem de baixa produtividade (pasture), eucalipto em monocultivo (*Eucalyptus*), lavoura em monocultivo de milho (grains) e mata nativa (forest) em Morrinhos, Goiás, Brasil.

Uso da terra	Areia	Silte	Argila	Classificação
	-----(g kg^{-1})-----			textural do solo
0-0,10 m				
Pasture	406,7	104,5	488,7	Argila
ICLF 0 m	390,6	131,6	477,7	Argila
ICLF 2,5 m	382,7	143,7	473,5	Argila
ICLF 5,0 m	384,0	175,5	440,5	Argila
Eucalyptus	435,5	97,2	467,2	Argilo-arenoso
Grains (corn)	324,0	190,0	486,0	Argila
Forest	283,5	46,7	569,7	
0,10-0,20 m				
Pasture	403,1	98,8	498,0	Argila
ICLF 0 m	377,8	115,7	506,5	Argila
ICLF 2.5 m	383,4	98,5	518,0	Argila
ICLF 5.0 m	368,5	144,2	487,2	Argila
Eucalyptus	433,6	66,6	499,7	Argila
Grains (corn)	313,6	161,7	524,7	Argila
Forest	377,0	63,7	559,2	Argila
0,20-0,30 m				
Pasture	358,8	152,4	488,7	Argila
ICLF 0 m	389,6	105,3	505,0	Argila
ICLF 2.5 m	363,8	136,7	499,5	Argila
ICLF 5.0 m	353,2	126,5	520,2	Argila
Eucalyptus	294,3	171,6	534,0	Argila
Grains (corn)	365,4	70,0	564,5	Argila
Forest	403,0	76,8	502,2	Argila
0,30-0,40 m				
Pasture	355,8	171,1	473,5	Argila
ICLF 0 m	394,1	122,3	483,5	Argila
ICLF 2.5 m	356,1	150,6	493,2	Argila
ICLF 5.0 m	345,7	150,3	504,0	Argila
Eucalyptus	291,7	185,8	522,5	Argila
Grains (corn)	363,5	74,2	562,2	Argila
Forest	407,4	86,0	506,5	Argila

As amostras indeformadas, coletadas com anéis volumétricos no meio da faixa de cada profundidade, foram utilizadas para a avaliação da densidade do solo e porosidade (Teixeira et al. 2017). Foi considerada como capacidade de campo (CC) a

umidade do solo retida na tensão de 8 kPa, o ponto de murcha permanente na tensão de 1500 kPa (PMP), água disponível (AD = CC - PMP).

5.2.3. Estoque de SOC e determinação da origem pela abundância natural do ^{13}C

As amostras de TFSA para a análise de carbono orgânico do solo (SOC) e ^{13}C foram moídas em um moinho de bolas de porcelana por vinte e quatro horas, e depois peneirados através de uma peneira de 125 μm . A parte que foi retida na peneira foi moída manualmente em graal de porcelana até que todo o conteúdo pudesse passar através da peneira.

O SOC e o ^{13}C foram analisados por combustão a seco (950°C) usando o equipamento Vario Isotope Cube acoplado em série a um espectrômetro de massa (Isoprime, Elementar Inc. Hanau, Alemanha) (Elementar Inc., Hanau, Alemanha).

O estoque de SOC total foi calculado para a massa equivalente do solo conforme descrito por Sisti et al. (2004), em que a densidade de solo da mata foi utilizada como referência para cada camada de solo. O SOC foi calculado para quatro camadas 0-0,10 m, 0,10-0,20 m, 0,20-0,30 m e 0,30-0,40 m, enquanto o ^{13}C foi determinado para as duas camadas superficiais (0-0,10 m, 0,10-0,20 m).

Para análise do ^{13}C as amostras de solo foram maceradas e em seguida passadas em peneira de 100 mesh. A relação $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ foi medida em espectrômetro de massa de razão isotópica de fluxo contínuo, sendo os valores do ^{13}C calculados de acordo com Balesdent e Mariotti (1996):

$$\delta^{13}\text{C} = [(R_{\text{amostra}} - R_{\text{padrão}}) / R_{\text{padrão}}] * 1000$$

Em que, R_{amostra} representa a relação $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ da amostra e $R_{\text{padrão}}$ representa a relação $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ do padrão. O padrão internacional é a Pee Dee Belemnite (PDB), que é uma rocha calcária encontrada em uma formação geológica denominada Pee Dee e apresenta uma composição isotópica (R) no valor de 0,0112372 (Martinelli et al. 2009).

A relação obtida foi expressa em partes por mil (‰), baseada no padrão usual PDB.

5.2.4. Análise estatística

A análise estática foi realizada adotando o modelo linear misto, sendo os diferentes usos do solo tratados como efeito fixo e as minitrincheiras como efeito aleatório, para cada profundidade. Foram considerados sete tratamentos (pasture, ILPF 0 m, ILPF 2.5 m, ILPF 5 m, Eucalyptus, grains e forest). O teste de Dunnett indicou se houve diferenças entre pastagem degradada e os outros usos do solo, para cada camada de profundidade. Foi utilizado o Proc MIXED do software estatístico SAS/STAT® (SAS Institute Inc. 2008).

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.3.1. Atributos químicos e físicos dos solos

A camada superficial do solo (0-0,10 m) foi a que apresentou mais diferenças nos atributos químicos estudados nos tratamentos avaliados (Tabelas 2 e 3). Nesta camada a área da pastagem diferiu de pelo menos um tipo de uso da terra em todas as variáveis químicas analisadas, o que era esperado por se tratar de uma área que está há vários anos sem intervenção no manejo da fertilidade.

Tabela 2. Atributos químicos do solo, matéria orgânica (MO), pH, fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), soma de bases (SB), CTC efetiva (CTCef.), CTC total (CTCpH) e acidez potencial (H+Al) sob diferentes coberturas vegetais, nas camadas de 0-0,10 m, 0,10-0,20 m, 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m em um Latossolo Vermelho distrófico, em Morrinhos, Goiás, Brasil.

Uso da terra	MO (g kg ⁻¹)	pH (H ₂ O)	P ----- (mg dm ⁻³) -----	K	Ca	Mg	SB ----- (cmol kg ⁻¹) -----	CTCef.	CTCpH	H+Al
0-0,10 m										
Pasture	38,39	6,07	1,95	46,92	2,04	1,05	3,21	3,21	4,79	1,57
ILPF 0 m	37,86ns	5,87ns	12,90**	160,31*	2,47ns	1,04ns	3,92ns	3,92ns	6,27**	2,35**
ILPF 2,5 m	37,65ns	5,82ns	10,35**	129,03ns	2,62*	1,04ns	3,99*	3,99*	6,36**	2,37**
ILPF 5,0 m	38,30ns	5,95ns	15,67**	211,14**	2,68**	1,25ns	4,47**	4,47**	6,52**	2,05**
Eucalyptus	36,87ns	5,65**	1,65ns	31,28ns	2,51*	0,91ns	3,51ns	3,56ns	5,41ns	1,90*
Grains(corn)	36,43ns	5,57**	8,30**	74,29ns	2,36ns	0,72*	3,28ns	3,33ns	5,35**	2,07**
Forest	34,37*	4,55**	0,70ns	31,28ns	0,03**	0,04**	0,16**	0,66**	2,56ns	2,40**
0,10-0,20 m										
Pasture	31,00	6,05	0,97	23,46	1,29	0,62	1,97	1,97	3,47	1,50
ILPF 0 m	29,02ns	6,02ns	2,57ns	50,83*	1,55ns	0,50ns	2,19ns	2,19ns	4,29*	2,10**
ILPF 2,5 m	30,06ns	5,95ns	2,82ns	43,01ns	1,51ns	0,57ns	2,19ns	2,19ns	4,37*	2,17**
ILPF 5,0 m	30,00ns	5,75*	2,95ns	46,92ns	1,38ns	0,52ns	2,02ns	2,05ns	4,20ns	2,17**
Eucalyptus	28,44ns	5,22**	0,67ns	15,64ns	0,71ns	0,24**	1,00*	1,17ns	3,04ns	2,05**
Grains(corn)	31,00ns	5,80ns	3,90**	50,83*	1,93ns	0,58ns	2,66ns	2,68ns	4,56**	1,90*
Forest	28,20ns	4,97**	0,47ns	19,55ns	0,01**	0,02**	0,08**	0,40**	2,43*	2,35**
0,20-0,30 m										
Pasture	24,69	6,05	0,65	15,64	0,65	0,28	0,98	0,98	2,28	1,30
ILPF 0 m	25,52ns	5,45*	0,50ns	39,10*	0,44ns	0,19ns	0,74ns	0,79ns	3,34**	2,60**
ILPF 2,5 m	24,54ns	5,17**	0,55ns	39,10*	0,30ns	0,16ns	0,56ns	0,68ns	3,28**	2,72**
ILPF 5,0 m	26,45ns	5,60ns	0,47ns	35,19ns	0,86ns	0,34ns	1,29ns	1,34ns	3,52**	2,22**
Eucalyptus	24,76ns	5,32**	0,47ns	11,73ns	0,67ns	0,19ns	0,89ns	1,07ns	2,84ns	1,95**
Grains(corn)	25,49ns	5,35**	0,97ns	39,10*	0,94ns	0,36ns	1,41ns	1,51ns	3,29**	1,87**
Forest	25,34ns	5,05**	0,37ns	15,64ns	0,00*	0,02*	0,06*	0,33*	2,31ns	2,25**
0,30-0,40 m										
Pasture	20,03	6,05	0,25	15,64	0,50	0,18	0,72	0,72	2,07	1,35
ILPF 0 m	20,55ns	5,47**	0,30ns	39,10*	0,35ns	0,18ns	0,63ns	0,71ns	3,23**	2,60**
ILPF 2,5 m	20,63ns	5,47**	0,30ns	39,10*	0,31ns	0,14ns	0,56ns	0,63ns	3,18**	2,62**
ILPF 5,0 m	21,70ns	5,60*	0,27ns	31,28ns	0,47ns	0,23ns	0,78ns	0,83ns	3,03**	2,25**
Eucalyptus	21,15ns	5,40**	0,37ns	7,82ns	0,73ns	0,18ns	0,93ns	1,05ns	2,80**	1,87*
Grains(corn)	21,34ns	5,02**	0,32ns	23,46ns	0,38ns	0,19ns	0,63ns	0,78ns	2,56ns	1,92*
Forest	22,66ns	5,22**	0,20ns	11,73ns	0,00**	0,01**	0,04**	0,21**	2,09ns	2,05*

As médias foram comparadas com a Pastagem pelo teste de Dunnett. Asteriscos indicam diferença estatística em relação a Pastagem: **p≤0,01; *p≤0,05; ns não significativo.

Tabela 3. Atributos químicos do solo, saturação por bases (V), saturação por alumínio (m), alumínio (Al), cobre (Cu), zinco (Zn), ferro (Fe) e manganês (Mn) sob diferentes coberturas vegetais, nas camadas de 0-0,10 m, 0,10-0,20 m, 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m em um Latossolo Vermelho distrófico, em Morrinhos, Goiás, Brasil.

Uso da terra	V ------(%)-----	m	Al (cmol kg ⁻¹)	Cu	Zn ------(mg dm ⁻³)-----	Fe	Mn
0-0,10 m							
Pasture	67,10	0,00	0,00	1,38	1,29	29,41	18,53
ILPF 0 m	62,52ns	0,00ns	0,00ns	1,12*	3,59**	18,03*	14,27*
ILPF 2,5 m	62,69ns	0,00ns	0,00ns	0,91**	3,23**	14,94**	11,63**
ILPF 5,0 m	68,56ns	0,00ns	0,00ns	1,00**	4,69**	17,14*	13,61*
Eucalyptus	63,97ns	1,77ns	0,50*	0,64**	1,07ns	23,66ns	22,02ns
Grains(corn)	61,18ns	1,50ns	0,50*	0,83**	4,63**	17,87*	14,90ns
Forest	6,26**	76,19**	5,00**	1,34ns	0,21*	58,85**	7,37**
0,10-0,20 m							
Pasture	56,64	0,00	0,00	1,38	0,46	25,27	13,44
ILPF 0 m	51,04ns	0,00ns	0,00ns	1,17ns	1,51ns	19,74ns	7,91**
ILPF 2,5 m	49,28ns	0,00ns	0,00ns	1,46ns	1,67ns	18,80ns	8,55*
ILPF 5,0 m	45,30ns	2,94ns	0,25ns	1,23ns	2,09*	18,31ns	8,50*
Eucalyptus	31,50**	19,05**	1,75**	0,97*	0,36ns	31,98ns	12,87ns
Grains(corn)	58,04ns	0,74ns	0,25ns	0,88*	2,21*	19,80ns	9,74*
Forest	3,34**	79,74**	3,25**	1,31ns	0,09ns	38,98**	4,93**
0,20-0,30 m							
Pasture	43,35	0,00	0,00	1,56	0,15	26,67	8,19
ILPF 0 m	22,07*	6,83ns	0,50ns	1,49ns	0,25ns	22,98ns	5,07*
ILPF 2,5 m	17,07**	18,31*	1,25*	1,45ns	0,32ns	22,92ns	5,83ns
ILPF 5,0 m	34,02ns	8,71ns	0,50ns	1,21*	0,77*	19,53ns	6,21ns
Eucalyptus	29,91ns	22,70**	1,75**	0,96**	0,18ns	29,76ns	10,05ns
Grains(corn)	41,18ns	8,30ns	1,00*	0,82**	0,57ns	17,29*	4,97*
Forest	2,65**	81,45**	2,75**	1,39ns	0,08ns	40,28**	4,65*
0,30-0,40 m							
Pasture	35,90	0,00	0,00	2,04	0,09	27,90	8,34
ILPF 0 m	19,70*	9,72ns	0,75ns	1,51**	0,08ns	18,78**	5,63*
ILPF 2,5 m	17,57**	12,03*	0,75ns	1,43**	0,07ns	18,77**	5,87*
ILPF 5,0 m	25,76ns	6,64ns	0,50ns	1,68*	0,13ns	19,92*	6,28ns
Eucalyptus	31,97ns	15,47*	1,25**	1,07**	0,13ns	32,08ns	10,75*
Grains(corn)	24,82ns	18,25**	1,50**	1,13**	0,10ns	19,77*	5,41*
Forest	2,05**	79,35**	1,75**	1,48**	0,06ns	31,85ns	2,60**

As médias de cada posição de amostragem das coberturas vegetais foram comparadas com a Pastagem pelo teste de Dunnett. Os asteriscos indicam diferença estatística em relação a Pastagem: ** $p \leq 0.01$; * $p \leq 0.05$; ns não significativo.

De maneira geral, é possível observar que em todos os usos do solo avaliados houve diminuição nos teores dos nutrientes com o aumento da profundidade, e é normal devido ao maior efeito em superfície dos fertilizantes e corretivos. De acordo com Sá (1999), a adubação na superfície proporciona acumulação diferencial de nutrientes no perfil, com maiores teores na camada superficial do solo. Além disso, a constante liberação de resíduos vegetais na superfície do solo, e sua decomposição, proporcionam maior teor dos nutrientes nesta camada.

Os teores de matéria orgânica (MO) na camada superficial (0-0,10 m) foram diferentes entre mata e a pastagem, que apresentou maiores valores (Tabela 2). Apesar da constante deposição de resíduos na mata, como folhas e galhos, estes tendem a ser mais recalcitrantes do que em pastagens, onde os resíduos apresentam menor conteúdo de lignina e tanino, sendo mais suscetíveis à decomposição microbiana (Mendham et al. 2004), há exemplo de estudo de Torres et al. (2005) em que a braquiária foi a cobertura que apresentou a maior taxa de decomposição dentre as espécies estudadas.

De modo geral, o solo das áreas apresenta baixa fertilidade natural, e pode ser observado nas Tabelas 2 e 3. Os solos do Cerrado são naturalmente ácidos pela constituição do material de origem, e pelo elevado processo de intemperismo, apresentando normalmente baixos teores de nutrientes, como fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) (Fageria & Stone 1999).

Para o teor de fósforo (P) houve diferença estatística somente na camada mais superficial da área do ILPF, e nas camadas 0-0,10 e 0,10-0,20 m na área do monocultivo de milho (grains) (Tabela 2). Na área do ILPF o teor foi superior em 85% em relação a pastagem, provavelmente pela adubação realizada no momento do plantio. A maior concentração nas camadas superficiais ocorre por ser considerado um nutriente de baixa mobilidade no solo em razão da forte ligação com os minerais da argila, principalmente óxidos de ferro e de alumínio, os quais apresentam elevados teores nos solos tropicais (Prezotti & Guarçoni 2013, Santos et al. 2008). Acumulações superficiais de P também foram observadas por Diel et al. (2014) nos sistemas com soja/milho safrinha e com ILPF, sendo que no ILPF os teores de P também não diferiram entre as distâncias do renque das árvores.

Em relação ao caráter ácido dos solos estudados e a distribuição de cargas observa-se que a área da mata sempre apresenta menores valores em virtude da não

correção do solo, sendo os baixos valores de pH característicos dos latossolos do Cerrado (Lopes 1984). O pH em superfície (camadas 0-0,10 e 0,10-0,20 m) apresentou valores menores que 5,0 (Tabela 2), e ocasiona valores de Al (forma tóxica) elevados e que conferiram o caráter álico (valor $m > 50\%$) nessa área (Tabela 3), conseqüentemente baixa atividade química dos coloides do solo (ou seja, baixos valores de CTCef e de CTCpH) (Vezzani et al. 2008).

A redução do pH do solo diminui a disponibilidade de vários nutrientes (Prezotti & Guarçoni 2013), e pode ser constatado pelos menores teores de soma de bases (SB) apresentado pela área da mata em todas as profundidades estudadas (Tabela 2), e também pela diferença, com baixo teor de SB, observado no monocultivo de eucalipto na camada 0,10-0,20 m. Os maiores valores de SB no ILPF 2,5 m e ILPF 5,0 m, diferindo da pastagem na camada de 0-0,10 m, provavelmente se deve pela existência de maior diversidade de espécies e sistemas radiculares no ILPF.

Essa variedade no aporte de resíduos orgânicos favorece a microbiota do solo e diversifica a ciclagem de nutrientes. Tem-se observado que áreas com sistemas integrados de cultivo apresentam qualidade biológica do solo superior em relação às áreas com monocultivo (Assis et al. 2015, Mendes et al. 2018) muito em virtude da deposição de biomassa das árvores e das gramíneas na superfície do solo, que consistem num meio importante de ciclagem de nutrientes.

De maneira geral, em todas as profundidades estudadas, o sistema ILPF nas diferentes distâncias do renque de árvores avaliadas proporcionou melhor resultado de CTC total (CTCpH) (Tabela 2). A CTCpH é de grande importância no que diz respeito à fertilidade do solo, uma vez que indica a capacidade total de retenção de cátions, os quais, em geral, irão se tornar disponíveis às plantas (Chaves et al. 2004). Desta forma, o resultado observado evidencia a importância da diversificação promovida pelo

sistema ILPF, contribuindo para retenção (adsorção) dos nutrientes e evitando que esses sejam perdidos por lixiviação, promovendo maior eficiência da adubação.

Com relação aos atributos físicos, analisando a porosidade total (PT) e macroporosidade (MA) nas 4 profundidades estudadas, somente o tratamento ILPF 2,5 m apresentou valor abaixo dos valores de referência, porém muito próximo do considerado ideal (Tabela 4), em que um solo caracterizado como ideal para o desenvolvimento das plantas apresenta macroporosidade de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (Pagliai et al. 2003), enquanto a porosidade total é de $0,50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ do seu volume total, com a microporosidade variando entre $0,25$ e $0,33 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$.

Observou-se diferenças majoritariamente na camada mais superficial do solo (0-0,10 m), principalmente nos tratamentos de monocultivo de eucalipto, monocultivo de milho e mata nativa, em que se tem os maiores valores de PT e MA, e conseqüentemente os menores valores de densidade do solo (DS), uma vez que este atributo é dependente do arranjo poroso do solo. Menores valores de DS, geralmente indicam bom volume de macroporos no solo, reduzida resistência à penetração das raízes, difusão mais rápida de nutrientes e de oxigênio e maior taxa de mineralização da matéria orgânica no solo (Stone & Moreira 2000).

Tabela 4. Atributos físicos do solo, porosidade total (PT), macroporosidade (MA), microporosidade (MI), densidade do solo (DS), capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e água disponível (AD) sob diferentes coberturas vegetais, nas camadas de profundidade 0-0,10 m, 0,10-0,20 m, 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m em um Latossolo Vermelho distrófico, em Morrinhos, Goiás, Brasil.

Uso da terra	PT	MA	MI	DS	CC	PMP	AD
	-----($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)-----			(g cm^{-3})	-----($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)-----		
0-0,10m							
Pasture	0,51	0,11	0,40	1,25	0,38	0,26	0,12
ILPF 0 m	0,53ns	0,14ns	0,39ns	1,18ns	0,37ns	0,24*	0,12ns
ILPF 2,5 m	0,50ns	0,10ns	0,40ns	1,26ns	0,38ns	0,25ns	0,12ns
ILPF 5,0 m	0,53ns	0,13ns	0,40ns	1,19ns	0,37ns	0,25ns	0,13ns
Eucalyptus	0,56*	0,23**	0,34**	1,12*	0,32**	0,22**	0,10*
Grains(corn)	0,57*	0,19*	0,38ns	1,09*	0,35*	0,22**	0,12ns
Forest	0,60**	0,29**	0,31**	1,00**	0,30**	0,21**	0,08**
0,10-0,20 m							

Pasture	0,51	0,13	0,38	1,25	0,36	0,25	0,11
ILPF 0 m	0,50ns	0,11ns	0,39ns	1,26ns	0,37ns	0,25ns	0,12ns
ILPF 2,5 m	0,49ns	0,09ns	0,40ns	1,29ns	0,37ns	0,25ns	0,12ns
ILPF 5,0 m	0,50ns	0,10ns	0,40ns	1,26ns	0,37ns	0,25ns	0,12ns
Eucalyptus	0,50ns	0,12ns	0,37ns	1,30ns	0,35ns	0,23*	0,12ns
Grains(corn)	0,53ns	0,14ns	0,38ns	1,20ns	0,36ns	0,24ns	0,11ns
Forest	0,59**	0,26**	0,32**	1,04**	0,30**	0,23*	0,07**
0,20-0,30 m							
Pasture	0,54	0,20	0,34	1,17	0,32	0,22	0,09
ILPF 0 m	0,52ns	0,13*	0,39*	1,22ns	0,36*	0,26*	0,10ns
ILPF 2,5 m	0,52ns	0,15*	0,37ns	1,21ns	0,34ns	0,24ns	0,10ns
ILPF 5,0 m	0,51*	0,13*	0,38*	1,25ns	0,35ns	0,24ns	0,10ns
Eucalyptus	0,50*	0,13*	0,37ns	1,30*	0,34ns	0,23ns	0,11ns
Grains(corn)	0,54ns	0,18ns	0,36ns	1,16ns	0,33ns	0,23ns	0,10ns
Forest	0,57ns	0,25ns	0,33ns	1,07*	0,30ns	0,22ns	0,08ns
0,30-0,40 m							
Pasture	0,53	0,18	0,35	1,20	0,33	0,23	0,09
ILPF 0 m	0,54ns	0,16ns	0,37ns	1,17ns	0,34ns	0,24ns	0,10ns
ILPF 2,5 m	0,54ns	0,19ns	0,35ns	1,16ns	0,33ns	0,24ns	0,09ns
ILPF 5,0 m	0,53ns	0,17ns	0,36ns	1,18ns	0,33ns	0,24ns	0,10ns
Eucalyptus	0,52ns	0,18ns	0,34ns	1,24ns	0,32ns	0,22ns	0,10ns
Grains(corn)	0,55ns	0,20ns	0,35ns	1,14*	0,32ns	0,23ns	0,09ns
Forest	0,55ns	0,22ns	0,33ns	1,13*	0,31ns	0,22ns	0,08*

As médias de cada posição de amostragem das coberturas vegetais foram comparadas com a Pastagem pelo teste de Dunnett. Os asteriscos indicam diferença estatística em relação a Pastagem: ** $p \leq 0,01$; * $p \leq 0,05$; ns não significativo.

A capacidade de campo (CC) representa limite superior de retenção hídrica no solo, sendo a máxima quantidade de água que ele pode reter sem causar danos ao sistema (Mantovani et al. 2009), enquanto o ponto de murcha permanente (PMP) é o teor de umidade no qual a planta não consegue mais retirar água do solo, sendo a diferença entre eles o teor de água disponível (AD) no solo às plantas.

Os resultados demonstram que, na camada superficial do solo (0-0,10 m), apenas na área do monocultivo de eucalipto e mata nativa os valores de CC e PMP diferiram da pastagem de baixa produtividade, promovendo também diferenças na AD (Tabela 4). A área de mata nativa apresentou ainda menores teores de AD nas camadas 0,10-0,20 m e 0,30-0,40 m. Tal resultado pode estar relacionado com o período de coletas, visto que foram realizadas logo após as primeiras chuvas, depois de meses de seca, e pelo porte da vegetação nestas áreas. Oliveira et al. (2008) aponta que há influência significativa da vegetação no recebimento e redistribuição das chuvas,

principalmente em áreas com florestas de grande porte. Uma das principais influências da floresta ocorre já no recebimento das chuvas pelas copas das árvores, em que parte da precipitação se acumula nas folhas e ramos, e é devolvida à atmosfera por evaporação (perdas por interceptação). Assim, a interceptação tem grande importância no balanço hídrico e na quantidade de água que contribuirá para a reposição da umidade disponível no solo.

De modo geral, neste estudo as diferentes distâncias do renque de árvores no sistema ILPF não apresentaram diferenças da pastagem com relação aos atributos físicos avaliados. Em contrapartida, Assis et al. (2015) concluíram que os sistemas ILPF com mais de 5 anos promoveram melhoria na qualidade física do solo, variando com a posição de amostragem em referência à linha de árvores. Desta forma, espera-se que, nas avaliações seguintes, com maior tempo de adoção do sistema, o ILPF estudado seja capaz de proporcionar melhorias físicas pronunciadas na área, sendo estes resultados iniciais fundamentais para monitoramento da evolução da qualidade do solo da área.

5.3.2. Estoque de SOC e abundância natural do ^{13}C

Os teores de carbono do solo apresentaram comportamento característico, com maiores teores em superfície e redução com o aumento da profundidade (Siqueira Neto et al. 2009, Sisti et al. 2004). Os estoques de carbono orgânico do solo (SOC) diferiram apenas na camada 0-0,10 m, e, apresentaram-se inferiores no monocultivo de eucalipto, e na camada 0,30-0,40 m, e foram maiores na mata (Figura 3).

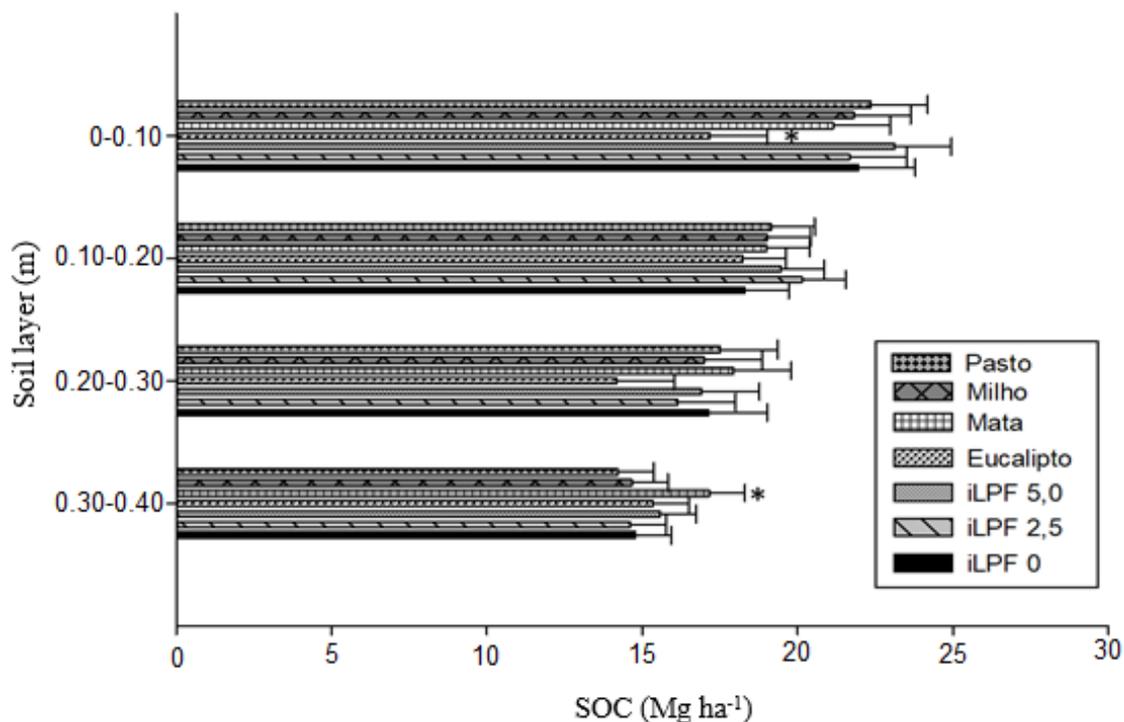


Figura 3. Estoque de carbono orgânico do solo (SOC) sob diferentes coberturas vegetais, nas camadas 0-0,10 m, 0,10-0,20 m, 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m em um Latossolo Vermelho distrófico, em Morrinhos, Goiás, Brasil. As médias de cada posição de amostragem das coberturas vegetais foram comparadas com a Pastagem pelo teste de Dunnett. Os asteriscos indicam diferença estatística em relação a Pastagem (* $p \leq 0,05$).

A menor quantidade de SOC na superfície do monocultivo de eucalipto pode estar associada a decomposição da serrapilheira, uma vez que estudo de Schumacher et al. (2013) encontrou baixa taxa de decomposição de serrapilheira de um povoamento de eucalipto, quando comparada ao verificado para formações florestais tropicais. Em contrapartida, apesar de também conter resíduos com maiores teores de lignina, a não mobilização do solo na área de mata promove a preservação da matéria orgânica, e a constante ciclagem do material vegetal, proporcionado pela maior diversidade de espécies presentes (Carneiro et al. 2009), contribuindo para seu maior teor de SOC.

A variedade de espécies do ILPF também se aponta como justificativa para o SOC na área desse sistema ter diferido da mata apenas na profundidade de 0,30-0,40 m, demonstrando o potencial de contribuição do sistema integrado nos estoques de carbono

orgânico do solo, visto que este sistema do estudo ainda é recente e, portanto, com o desenvolvimento das espécies, há possibilidade de maior contribuição no estoque de SOC.

As plantas de ciclo C3, representadas pela maioria das plantas lenhosas (vegetação arbórea e arbustiva), assimilam CO₂ através da enzima rubisco, que tem menor afinidade com o CO₂ que a PEP carboxilase, que é responsável pela fixação nas plantas de ciclo C4. Dessa forma, a rubisco discrimina mais ¹³C em relação ao ¹²C e, por isso, acumulam menos ¹³C, gerando no solo teores menores de ¹³C, enquanto as plantas com metabolismo C4 fixam o ¹³C em maiores proporções, ocasionando maior abundância natural de ¹³C (Alves et al. 2005, Martinelli et al. 2009). Os valores de δ¹³C de espécies de ciclo C3 variam entre -20‰ e -34‰ (média de -27‰) e espécies de ciclo C4 variam entre -9‰ e -17‰ (média de -14‰) (Alves et al. 2005). Assim, a implantação de espécies vegetais com diferentes ciclos fotossintéticos (C3 e C4) promove mudanças na matéria orgânica do solo (MOS), sendo a técnica de abundância natural de ¹³C (¹³C/¹²C) utilizada para verificar a origem do C do solo, visando determinar a influência dos diferentes sistemas de uso da terra no sequestro de C (Balesdent et al. 1987).

No presente estudo, as diferenças nos valores de δ¹³C entre os usos do solo foram mais pronunciadas na camada mais superficial do solo (0-0,10 m), com a área de pastagem apresentando os maiores valores (aproximadamente -16‰) e a área de mata o menor valor (cerca de -21‰) (Figura 4). Resultados semelhantes foram observados por Salgado et al. (2019), que também encontraram maior variação do valor de δ¹³C nos primeiros 10 cm, com a floresta secundária apresentando os valores mais negativos (próximo de -28 ‰) e o pasto com valor próximo a -23 ‰.

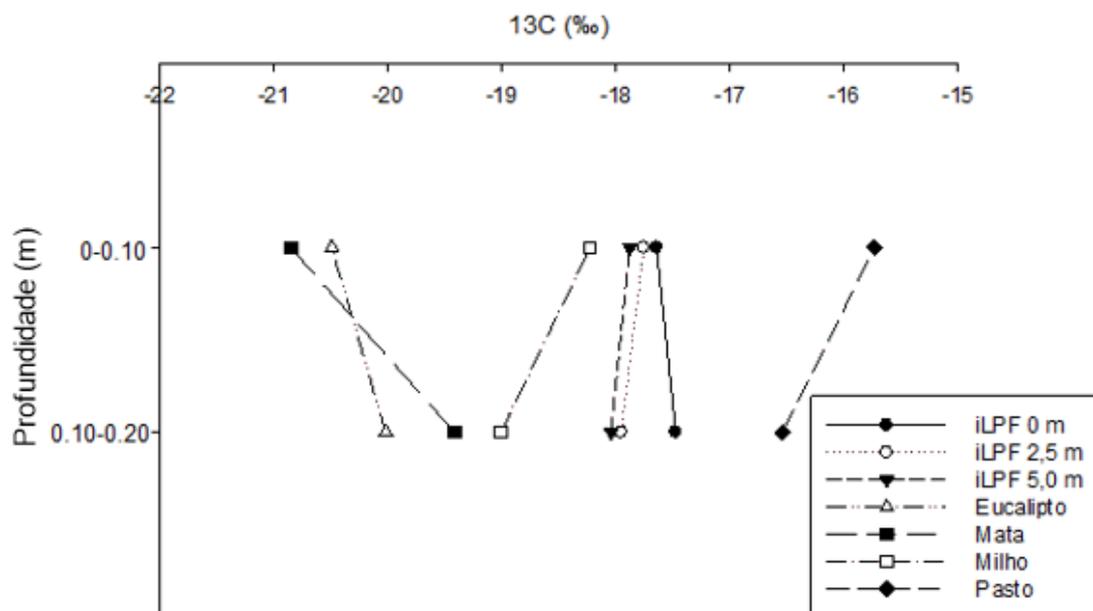


Figura 4. ^{13}C do solo sob ILPF, pastagem de baixa produtividade (pasto), eucalipto em monocultivo (Eucalipto), lavoura em monocultivo de milho (milho) e mata nativa (mata), nas camadas 0-0,10 m e 0,10-0,20 m em um Latossolo Vermelho distrófico, em Morrinhos, Goiás, Brasil.

Os tratamentos com ILPF foram bem semelhantes entre si com distribuição quase homogênea de $\delta^{13}\text{C}$ nas duas profundidades avaliadas (próximo de -17 a -18‰) (Figura 4). O monocultivo de milho apresentou valores pouco mais inferiores que o ILPF, com cerca de -18‰ na camada 0-0,10 m e -19‰ na camada de 0,10-0,20 m.

Na área de monocultivo de eucalipto, apesar de ocorrer predominância de espécies C3, os valores de $\delta^{13}\text{C}$ se encontram próximo à faixa de transição (mistura) entre C3 e C4, principalmente na camada 0,10-0,20 m. Isto provavelmente se deve pelo remanescente da cobertura de pastagem e soja que foram cultivadas na área nos anos anteriores à implantação dos eucaliptos, demonstrando que a espécie arbórea está promovendo a substituição do C-C4 da MOS da área. Lima et al. (2006) verificaram diminuição linear na contribuição de C-C4 a partir de 21 anos de rotação do eucalipto estabelecido sob área de pastagem degradada. Após a implantação de seringueira, Salgado et al. (2019) observaram que houve substituição quase completa do COS ao longo dos 35 anos de implantação do sistema, em substituição a pastagem degradada.

Na área de mata nativa observou-se variação mais acentuada no valor de $\delta^{13}\text{C}$ entre as camadas de 0-0,10 m e 0,10-0,20 m, e o valor de $\delta^{13}\text{C}$ na segunda camada (entre -19‰ e -20‰) foi diferente do intervalo de variação de C-C3 proposto na literatura, que é de -20‰ a -34‰ de acordo com Alves et al. (2005). Sugere-se que isto pode ter ocorrido por se tratar de uma área de Cerrado que não apresenta vegetação densa, com presença de clareiras que favorece o desenvolvimento de gramíneas nativas e subarbustos, que podem estar contribuindo com esse valor de $\delta^{13}\text{C}$ na faixa de mistura C3 e C4. Desta forma, estudos que façam avaliação fitossociológica da área, bem como avaliação de $\delta^{13}\text{C}$ em maiores profundidades são necessários para confirmação.

Conhecer a contribuição dos diferentes sistemas de uso da terra na formação de MOS, e conseqüentemente na ciclagem de nutrientes, é importante para determinar o potencial de cada um no sequestro de carbono e na capacidade de proporcionar melhorias na qualidade do solo, com possíveis contribuições positivas frente às mudanças climáticas (Alves et al., 2005), na busca de sistemas produtivos mais sustentáveis.

Desta forma, devido a diferença de $\delta^{13}\text{C}$ entre a área de ILPF e a pastagem, é notório que o sistema ILPF têm proporcionado mudanças na matéria orgânica da área e, conseqüentemente, na origem do C do solo, demonstrando que a intensificação da área agrícola com prática de manejo adequada pode contribuir com a manutenção ou mesmo o acúmulo de C no sistema solo-planta, podendo atenuar os efeitos do aquecimento global (Carvalho et al. 2010).

5.4 CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo, um primeiro ano de implantação do sistema ILPF, sugerem que a variedade de espécies e o manejo deste sistema podem contribuir com maior armazenamento de SOC. Com o crescimento das espécies arbóreas no sistema

ILPF, há possibilidade deste interferir marcadamente nos atributos edáficos.

Como o solo é importante compartimento de C, com potencial de sequestro de C em suas camadas, o não diferimento do SOC do sistema ILPF com a mata, nas menores profundidades, demonstra que o ILPF poderá contribuir na atenuação dos efeitos do aquecimento global ao reter e armazenar CO₂, que é reconhecidamente um dos gases do efeito estufa. Estes resultados primários são de suma importância para acompanhar o efeito que o sistema ILPF proporcionará no decorrer no tempo, norteados por decisões importantes de manejo, uma vez que esses sistemas são considerados chaves para produção sustentável de alimentos.

5.5 REFERÊNCIAS

ALVARENGA, R. C.; VIANA, M. C. M.; GONTIJO NETO, M. M. O Estado da arte da Integração Lavoura-Pecuária-Floresta no Brasil. *In: SANTOS, L. D. T.; MENDES, L. R.; DUARTE, E. R.; GLÓRIA, J. R.; ANDRADE, J. M.; CARVALHO, L. R.; SALES, N. L. P. (Ed.). Integração lavoura-pecuária-floresta: potencialidades e técnicas de produção*. 1. ed. Montes Claros: Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, 2012. p.11-20.

ALVES, B. J. R.; MADARI, B. E.; BODDEY, R. M. Integrated crop-livestock-forestry systems: prospects for a sustainable agricultural intensification. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 108, n. 1, p.1-4, 2017.

ALVES, B. J. R.; ZOTARELLI, L.; JANTALIA, C. P.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. Emprego de isótopos estáveis para o estudo do carbono e nitrogênio no sistema solo-planta. *In: AQUINO, A. M.; ASSIS, R. L. (Ed.). Processos biológicos no sistema solo-planta: ferramentas para uma agricultura sustentável*. 1.ed. Brasília: Embrapa, 2005. p.343-368.

ASSIS, P. C. R.; STONE, L. F.; MEDEIROS, J. C.; MADARI, B. E.; OLIVEIRA, J. de M.; WRUCK, F. J. Atributos físicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 19, n. 4, p. 309-316, 2015.

BALBINOT JUNIOR, A. A.; MORAES, A. de; VEIGA, M. da; PELISSARI, A.; DIECKOW, J. Integração Lavoura-Pecuária: Intensificação de uso de áreas agrícolas. *Ciência Rural*, v. 39, n. 6, p. 1925-1933, 2009.

BALESDENT, J.; MARIOTTI, A. Measurement of soil organic matter turnover using ^{13}C natural abundance. In: BOUTTON, T. W.; YAMASAKI, S. (Ed.). *Mass Spectrometry of Soil*. New York: Marcel Dekker, 1996. p. 83-111.

BALESDENT, J.; MARIOTTI, A.; GUILLET, B. Natural ^{13}C abundance as a tracer for studies of soil organic matter dynamics. *Soil Biology and Biochemistry*, v.19, n. 1, p.25–30, 1987.

BARCELLOS, A.de O.; MEDRADO, M. J. S.; GRISE, M. M.; SKORUPA, L. A.; ROCHA, W. S. D. Base conceitual, sistemas e benefícios da ILPF. In: BALBINO, L. C.; BARCELLOS, A. O.; STONE, L. F. (Ed.). *Marco referencial Integração Lavoura-Pecuária-Floresta*. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2011. p.23-37.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Plano setorial para adaptação à mudança do clima e baixa emissão de carbono na agropecuária com vistas ao desenvolvimento sustentável (2020-2030): visão estratégica para um novo ciclo*. Brasília: MAPA, 2021.

CARNEIRO, C. E. A.; MELÉM JÚNIOR, N. J.; AZEVEDO, M. C. B.; ANDRADE, E. A.; KOGUISHI, M. S.; DIEHL, R. C.; RICCE, W. da S.; PASSARIN, A. L.; VAZ, R. H. de M.; STELMACHUK, T. L. da L.; GUIMARÃES, M. de F.; RALISCH, R. Efeitos dos sistemas de manejo sobre o carbono orgânico total e carbono residual de um

- latossolo vermelho eutroférico. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 30, n. 1, p. 5-10, 2009.
- CARVALHO, A. M. de; OLIVEIRA, W. R. D. de; RAMOS, M. L. G.; COSER, T. R.; OLIVEIRA, A. D.; PULROLNIK, K.; SOUZA, K. W.; VILELA, L.; MARCHÃO, R. L. Soil N₂O fluxes in integrated production systems, continuous pasture and Cerrado. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 108, n. 1, p. 69-83, 2017.
- CARVALHO, J. L. N.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; MELLO, C. R.; CERRI, C. E. P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, n. 2, p. 277-289, 2010.
- CARVALHO, P. de; DOMICIANO, L. F.; MOMBACH, M. A.; NASCIMENTO, H. L. B.; CABRAL, L. da S.; SOLLENBERGER, L. E.; PEREIRA, D. H.; PEDREIRA, B. C. Forage and animal production on palisadegrass pastures growing in monoculture or as a component of integrated crop–livestock–forestry systems. *Grass and Forage Science*, v. 74, n. 4, p. 650-660, 2019.
- CHAVES, L. H. G.; TITO, G. A.; CHAVES, I. B.; LUNA, J. G.; SILVA, P. C. M. Propriedades químicas do solo aluvial da Ilha de Assunção - Cabrobó (Pernambuco). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, n. 3, p. 431-437, 2004.
- DIEL, D.; BEHLING, M.; FARIAS NETO, A. L. de; ISERNHAGEN, E. C. C. Distribuição horizontal e vertical de fósforo em sistemas de cultivos exclusivos de soja e de integração lavoura-pecuária-floresta. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 49, n. 8, p. 639-647, 2014.
- FAGERIA, N. K.; STONE, L. F. *Manejo da acidez dos solos de Cerrado e de Várzea do Brasil*. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. (Documentos, 92).
- JAKAB, G.; FILEP, T.; KIRÁLY, C.; MADARÁSZ, B.; ZACHÁRY, D.; RINGER, M.; VANCSIK, A.; GÁSPÁR, L.; SZALAI, Z. Differences in mineral phase associated soil organic matter composition due to varying tillage intensity. *Agronomy*, v. 9, n. 11,

p. 700, 2019.

LAMPURLANÉS, J.; PLAZA-BONILLA, D.; ÁLVARO-FUENTES, J.; CANTERO-MARTÍNEZ, C. Long-term analysis of soil water conservation and crop yield under different tillage systems in Mediterranean rainfed conditions. *Field Crops Research*, v. 189, n. 1, p. 59-67, 2016.

LEPSCH, I. F. *Formação e conservação dos solos*. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

LIMA, A. M. N.; SILVA, I. R.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; MENDONÇA, E. S.; SMYTH, T. J.; MOREIRA, M. S.; LEITE, F. P. Soil organic carbon dynamics following afforestation of degraded pastures with eucalyptus in southeastern Brazil. *Forest Ecology and Management*, v. 235, n. 1-3, p. 219-231, 2006.

LOPES, A. S. *Solos sob cerrado: características, propriedades e manejo*. 2. ed. Piracicaba, SP: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1984.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. *Irrigação - Princípios e Métodos*. 3. ed. Viçosa: Editora UFV, 2009.

MARTINELLI, L. A.; OMETTO, J. P. H. B.; FERRAZ, E. S.; VICTORIA, R. L.; CAMARGO, P. B.; MOREIRA, M. Z. Bases para uso da metodologia isotópica. In: MARTINELLI, L. A.; OMETTO, J. P. H. B.; FERRAZ, E. S.; VICTORIA, R. L.; CAMARGO, P. B.; MOREIRA, M. Z. (Ed.). *Desvendando questões ambientais com isótopos estáveis*. São Paulo, SP: Editora Oficina de Textos, 2009. p.9-18.

MENDES, I. C.; SOUSA, D. M. G.; REIS JUNIOR, F. B.; LOPES, A. A. de C. *Bioanálise de solo: como acessar e interpretar a saúde do solo*. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2018. (Circular Técnica, 38).

MENDHAM, D. S.; HEAGNEY, E. C.; CORBEELS, M.; O'CONNELL, A. M.; GROVE, T. S.; MCMURTRIE, R. E. Soil particulate organic matter effects on nitrogen availability after afforestation with *Eucalyptus globulus*. *Soil Biology and Biochemistry*,

v. 36, n. 7, p. 1067-1074, 2004.

OLIVEIRA, L. L.; COSTA, R. F.; SOUSA, F. A. S.; COSTA, A. C. L.; BRAGA, A. P. Precipitação efetiva e interceptação em Caxiuanã, na Amazônia Oriental. *Acta Amazonica*, v. 38, n. 4, p. 723-732, 2008.

PAGLIAI, M.; MARSILI, A.; SERVADIO, P.; VIGNOZZI, N.; PELLEGRINI, S. Changes in some physical properties of a clay soil in Central Italy following the passage of rubber tracked and wheeled tractors of medium power. *Soil and Tillage Research*, v. 73, n. 1-2, p. 119-129, 2003.

PREZOTTI, L. C.; GUARÇONI, A. *Guia de interpretação de análise de solo e foliar*. Vitória, ES: Incaper, 2013.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. *In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (Ed.). Cerrado: ecologia e flora v. 2*. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008.

ROMANO, P. A. Integração Lavoura-Pecuária-Floresta: uma estratégia para a sustentabilidade. *Informe Agropecuário*, v. 31, n. 257, p.7-15, 2010.

SÁ, J. C. M. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. *In: SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A. E.; CARVALHO, J. G. (Ed.). Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas*. Viçosa: SBCS, 1999. p. 267-319.

SALGADO, G. M.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; VICENTE, L. C.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; ALEIXO, S.; MARQUES, J. R. B. Stable carbon in soils under rubber tree (*Hevea brasiliensis*) agroforestry systems in the south of Bahia, Brazil. *SN Applied Sciences*, v. 1, n. 790, p. 1-12, 2019.

SANTOS, D. R.; 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.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. Á. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAÚJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 5. ed. rev ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SAS. *SAS/STAT*®. *User's guide, version 9.2*. SAS Institute Inc., Cary-NC, 2008.

SCHUMACHER, M. V.; CORRÊA, R. S.; VIERA, M.; ARAÚJO, E. F. Produção e decomposição de serapilheira em um povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus maidenii*. *Cerne*, v. 19, n. 3, p. 501-508, 2013.

SILVA, F. D.; AMADO, T. J. C.; FERREIRA, A. O.; ASSMANN, J. M.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. D. F. Soil carbon indices as affected by 10 years of integrated crop–livestock production with different pasture grazing intensities in Southern Brazil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 190, n. 1, p. 60-69, 2014.

SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M. de C.; SCOPEL, E.; COSTA JUNIOR, C.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Carbono total e atributos químicos com diferentes usos do solo no cerrado. *Acta Scientiarum - Agronomy*, v. 31, n. 4, p. 709-717, 2009.

SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P. dos; KOHHANN, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. *Soil and Tillage Research*, v. 76, n. 1, p. 39-58, 2004.

SMITH, P.; HOUSE, J. I.; BUSTAMANTE, M.; SOBOCKÁ, J.; HARPER, R.; PAN, G.; WEST, P. C.; CLARK, J. M.; ADHYA, T.; RUMPEL, C.; PAUSTIAN, K.; KUIKMAN, P.; COTRUFO, M. F.; ELLIOTT, J. A.; MCDOWELL, R.; GRIFFITHS, R. I.; ASAKAWA, S.; BONDEAU, A.; JAIN, A. K.; MEERSMANS, J.; PUGH, T. A. M. Global change pressures on soils from land use and management. *Global Change*

Biology, v. 22, n. 3, p. 1008-1028, 2016.

STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A. Efeitos de sistemas de preparo do solo no uso da água e na produtividade do feijoeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 35, n. 4, p. 835-841, 2000.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. *Manual de métodos de análise de solo*. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; ANDRIOLI, I.; POLIDORO, J. C.; FABIAN, A. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 29, n. 1, p. 609-618, 2005.

VEZZANI, F. M.; CONCEIÇÃO, P. C.; MELLO, N. A.; DIECKOW, J. Matéria orgânica e qualidade do solo. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. (Ed.). *Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais*. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p.483-494.

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, v. 37, n. 1, p. 29-38, 1934.

ZAGO, L. de M. S.; RAMALHO, W. P.; SILVA-NETO, C. de M.; CARAMORI, S. S. Biochemical indicators drive soil quality in integrated crop–livestock–forestry systems. *Agroforestry Systems*, v. 94, n. 6, p. 2249-2260, 2020.

6. CONCLUSÃO GERAL

Os resultados preliminares destes estudos, com algumas alterações nos atributos do solo na fase de estabelecimento de sistemas integrados, sugerem que o desenvolvimento dos componentes arbóreos, integrado à cultura agrícola, forragem e a presença de animais, poderão interferir marcadamente nos atributos químico-físicos, como promover maiores teores de carbono no solo.

Tais dados são fundamentais como marco inicial para monitorar o impacto que a adoção dos sistemas ILPF promoverão na qualidade do solo ao longo do tempo, possibilitando identificar sua sustentabilidade e contribuição no aporte de carbono no solo, contribuindo para a produção sustentável de alimentos frente as mudanças climáticas.