



Universidade Federal
de São João del-Rei

POLYANNA ABREU CORRÊA

**MATÉRIA ORGÂNICA E ESTABILIDADE DE AGREGADOS EM
SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA PECUÁRIA FLORESTA
SUBMETIDOS A DIFERENTES NÍVEIS TECNOLÓGICOS DE
MANEJO**

SETE LAGOAS

2022

POLYANNA ABREU CORRÊA

**MATÉRIA ORGÂNICA E ESTABILIDADE DE AGREGADOS EM
SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA PECUÁRIA FLORESTA
SUBMETIDOS A DIFERENTES NÍVEIS TECNOLÓGICOS DE
MANEJO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias (PPGCA), da Universidade Federal de São João Del Rei, Campus Sete Lagoas, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias, na área de concentração em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. André Thomazini

SETE LAGOAS

2022

Ficha catalográfica elaborada pela Divisão de Biblioteca (DIBIB)
e Núcleo de Tecnologia da Informação (NTINF) da UFSJ,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C824m Corrêa, Polyanna Abreu.
 Matéria orgânica e estabilidade de agregados em
 sistemas de integração lavoura pecuária floresta
 submetidos a diferentes níveis tecnológicos de manejo.
 / Polyanna Abreu Corrêa ; orientador André
 Thomazini. -- Sete Lagoas, 2022.
 37 p.

 Dissertação (Mestrado - Engenharia Agrônômica) --
 Universidade Federal de São João del-Rei, 2022.

 1. Matéria orgânica. 2. Física do solo. 3.
 Integração lavoura pecuária floresta. I. Thomazini,
 André, orient. II. Título.

POLYANNA ABREU CORRÊA

**MATÉRIA ORGÂNICA E ESTABILIDADE DE AGREGADOS EM
SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA PECUÁRIA FLORESTA
SUBMETIDOS A DIFERENTES NÍVEIS TECNOLÓGICOS DE
MANEJO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal de São João Del Rei, Campus Sete Lagoas, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias, na área de concentração em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. André Thomazini

Sete Lagoas, 14 de julho de 2022.

Banca Examinadora:

Prof^ª. Dr^ª. Aline de Almeida Vasconcelos - UFSJ

Prof. Dr. Rafael da Silva Teixeira - UFV

Prof. Dr. André Thomazini - UFSJ

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus em primeiro lugar, sem Ele eu nada seria!

À minha mãe, por ter sido tão essencial e cuidadosa em cada etapa deste processo. Obrigada pelo amor, pela paciência e por acreditar tanto em mim! Você vivenciou momentos ao meu lado, dedicando muitos dias no laboratório comigo, dividindo as aflições e alegrias, fazendo do caminho mais leve e tornando tudo isso possível. Te Amo!

Ao meu namorado Sereno, por me incentivar e não me deixar desistir, meu muito obrigada.

Aos meus professores, por tanta dedicação e conhecimento dado. Vocês foram fundamentais na minha formação e grandes exemplos do que almejo ser um dia!

À UFSJ-CSL e à FAPEMIG, pelo financiamento do projeto e concessão da bolsa e grande oportunidade de crescimento.

À equipe do laboratório de física do solo e amigos, por tornarem o trabalho possível e dividirem comigo tanto conhecimento.

À EMBRAPA Milho e Sorgo, em especial ao Dr. Ivanildo Evódio Marriel e ao Dr. Miguel Marques Gontijo Neto e à Fazenda Lagoa dos Currais, pela parceria e por dividirem comigo o seu projeto de anos, tornando possível essa realização.

Agradeço infinitamente a secretária do PPGCA e amiga, Carla Patrícia, que nunca mediu esforços em me ajudar ao longo desse período.

Meus mais sinceros sentimentos de gratidão ao meu Orientador e Dr. André Thomazini, por toda paciência nos meus momentos de dificuldade e por ter persistido confiante ao meu lado durante todo esse tempo. Muito obrigada por não ter desistido de mim!

E a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

Por fim, agradeço a mim mesma, por ter sido forte e perseverante, por não ter desistido apesar dos momentos difíceis. Sem essa fé em mim, eu não teria conseguido!

Muito Obrigada!

“A grandeza não consiste em receber honras, mas em merecê-las”

Aristóteles

SUMÁRIO

RESUMO	I
ABSTRACT	II
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	4
2.1 Área de estudo.....	4
2.2 Implantação da Unidade de Referência Tecnológica (URT) e delineamento experimental.....	4
2.2.1 Manejo da fertilidade	8
2.3 Amostragem do solo e análises físicas	12
2.4 Amostragem do solo e análises químicas	13
2.5 Método do Tamisamento Úmido.....	13
2.6 Análise de agregados.....	15
2.7 Análise dos dados.....	16
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
4 CONCLUSÕES	27
5 AGRADECIMENTOS	29
6 REFERÊNCIAS.....	30

MATÉRIA ORGÂNICA E ESTABILIDADE DE AGREGADOS EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA PECUÁRIA FLORESTA SUBMETIDOS A DIFERENTES NÍVEIS TECNOLÓGICOS DE MANEJO

RESUMO - As diferentes práticas de uso e manejo do solo podem afetar de forma marcante os atributos do solo, especialmente os físicos. Nesse sentido, é necessário desenvolver estratégias de manejo que promovam melhorias na qualidade do solo, a fim de favorecer o crescimento e desenvolvimento das culturas, aumentando sua eficiência e consequente produtividade sustentável. O estudo foi realizado na Fazenda Lagoa dos Currais – Curvelo/MG, em uma área de 44 hectares foi dividida em quatro piquetes de 11 hectares cada, onde foram estabelecidos quatro diferentes níveis de manejo de adubação e integração dos componentes agrícolas: nível um (Padrão Regional), nível dois (Sistema Melhorado), nível três (Sistema Intensificado) e nível quatro (Produção Potencial), sendo um nível para cada piquete, comparados com uma área testemunha adjacente de cerrado. Os níveis tecnológicos progridem de acordo com a tecnologia, investimento na melhoria do solo e estabelecimento de sistemas mais intensivos, que vão desde investimentos na fertilidade até a adoção de tecnologias mais avançadas de produção. A amostragem do solo foi realizada antes e depois da implementação na área de estudos, denominada de Unidade de Referência Tecnológica (URT) em duas profundidades diferentes (0-10 e 10-20cm) para caracterização química, física e de matéria orgânica do solo nos anos de 2017 e 2019. Os índices de agregação determinados foram: o diâmetro médio ponderado (DMP), o diâmetro médio geométrico (DMG) e o índice de estabilidade de agregados (IEA). A coleta do material utilizado para análise da física do solo foi feita uma única vez no final do ano de 2020, após três anos de estabelecimento do experimento. Uma análise de componentes principais (PCA) foi utilizada para comparar variáveis relacionadas a qualidade do solo entre os níveis de manejo adotados. O nível três tende a ter maior interferência positiva para a qualidade do solo na camada de 0-10 cm, principalmente no tocante ao acúmulo de matéria orgânica. Os resultados indicam que em profundidade, a matéria orgânica e a adubação foram os indicadores mais importantes, refletindo na qualidade geral do solo. Com base nos valores obtidos, o nível três é a gestão mais adequada do sistema de integração nesse contexto, uma vez que preserva a qualidade do solo a um custo inferior ao nível tecnológico quatro. É válido destacar que mesmo após três anos de avaliação, mais estudos precisam ser executados a fim de realizar um monitoramento mais preciso ao longo do tempo, principalmente em relação ao índice de estabilidade dos agregados do solo que demanda um tempo maior para ter reflexos mais expressivos relacionados a mudanças de manejo.

Palavras-chave: Solo. Propriedades físicas do solo. Pastagem. Matéria orgânica. Sistema de integração.

ORGANIC MATTER AND STABILITY OF AGGREGATES IN SYSTEMS INTEGRATION CROP LIVESTOCK FOREST SUBMITTED TO DIFFERENT TECHNOLOGICAL MANAGEMENT LEVELS

ABSTRACT - The different practices of land use and management can significantly affect soil attributes, especially physical ones. In this sense, it is necessary to develop management strategies that promote improvements in soil quality, in order to favor the growth and development of crops, increasing their efficiency and consequent sustainable productivity. The study was carried out at Fazenda Lagoa dos Currais – Curvelo/MG, in an area of 44 hectares, was divided into four pickets of 11 hectares each, where four different levels of fertilization management and integration of agricultural components were established: level one (Regional Standard), level two (Improved System), level three (Intensified System) and level four (Potential Production), being a level for each picket, compared with an adjacent control area of cerrado. Technological levels progress according to technology, investment in soil improvement and the establishment of more intensive systems, ranging from investments in fertility to the adoption of more advanced production technologies. Soil sampling was carried out before and after implementation in the study area, called the Technological Reference Unit (URT) at two different depths (0-10 and 10-20cm) for chemical, physical and organic soil characterization in 2017 and 2019. The aggregation indexes determined were: the weighted average diameter (MPD), the geometric mean diameter (MgD) and the aggregate stability index (IEA). The material used for soil physics analysis was collected once at the end of 2020, after three years of establishment of the experiment. A principal component analysis (PCA) was used to compare soil quality-related variables between the management levels adopted. Level three tends to have greater positive interference for soil quality in the 0-10 cm layer, especially regarding the accumulation of organic matter. The results indicate that in depth, organic matter and fertilization were the most important indicators, reflecting in the overall soil quality. Based on the values obtained, level three is the most appropriate management of the integration system in this context, since it preserves soil quality at a cost below the technological level four. It is worth noting that even after three years of evaluation, more studies need to be performed in order to perform more accurate monitoring over time, especially in relation to the stability index of soil aggregates that requires a longer time to have more expressive reflexes related to management changes.

Keywords: Solo. Physical properties of the soil. Pasture. Organic matter. Integration system.

1 INTRODUÇÃO GERAL

A produção de alimentos, tanto para alimentação humana quanto animal, apesar de essencial, é uma das atividades que mais utiliza recursos naturais como água, energia, minerais e solo e, por isso, é a principal causa de grandes impactos ambientais, tais como desmatamento e perda de biodiversidade, compondo a segunda maior emissora de gases do efeito estufa (SORRENTINO, 2015).

Os recursos naturais estão cada vez mais escassos, exigindo dos setores que produzem alimentos uma necessidade iminente de aumento da produtividade, de maneira mais sustentável, econômica e eficiente, no mesmo espaço em que antes se produzia menos. De acordo com ALVES et al. (2012), os avanços tecnológicos proporcionam ganhos por oferecer maior produtividade e eficiência, ao mesmo tempo em que torna a atividade mais competitiva e reduz diversos custos. Tal análise faz da inovação e tecnologia elementos essenciais para o surgimento de soluções, que otimizem as atividades da cadeia produtiva de alimentos.

A cadeia pecuária tem tido impulsos cada vez maiores no ramo agrícola e isto traz impactos para a rentabilidade na economia. Num levantamento realizado pelo Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA/ESALQ/USP), o agronegócio compôs 36 % do PIB mineiro em 2019, com um crescimento de 5,12 % em relação a 2018, refletindo o desempenho dos segmentos de insumos, produção primária, agroindustrial e agrosserviços. Nesse levantamento, as cadeias pecuárias foram as que tiveram maior impulso, com incremento de 8,51 %, enquanto o ramo agrícola teve aumento de 2,07 % (BARROS et al., 2020). Além disso, sistemas conservacionistas e pastagens bem manejadas oferecem boas condições de conservação do solo, colocando seus componentes em equilíbrio e evitando maiores perdas de solo e nutrientes por consequência do uso extensivo e inapropriado.

O uso sustentável dos sistemas produtivos depende, principalmente, de um manejo que possa promover a qualidade do solo. Geralmente, nos agroecossistemas de região tropical, há predominância de solos muito frágeis, que necessitam de tratos conservacionistas para manter e melhorar a qualidade dos componentes desse meio (NETTO et al., 2009). Esta condição dos sistemas agropecuários deve-se, principalmente, ao estado de conservação do solo, que pode mudar com o passar do tempo devido a ocorrências naturais ou de ações

geradas pelo homem que impactam a qualidade do solo, do ambiente e a produtividade (PIGNATARO et al., 2009).

Até meados do século passado, os solos de praticamente toda a área do Cerrado brasileiro eram considerados inaptos para exploração agropecuária mais intensiva devido à sua baixa fertilidade natural, elevada acidez e pouca disponibilidade da maioria dos nutrientes essenciais às plantas (LOPES e GUILHERME, 2017). Ainda hoje, é percebido a escassez de nutrientes quando se tenta produzir em áreas que não foram devidamente corrigidas e adubadas. Não somente no cerrado, mas em outros biomas, é possível verificar que a grande maioria das áreas rurais carecem de investimento em estratégias de manejo, corretivos de acidez e fertilizantes para viabilizar atividades agrícolas economicamente compensatórias (RESENDE et al., 2020). Tais fatores, são marcadamente importantes para uma produtividade satisfatória, mas também compõe um fator de extrema importância na manutenção da qualidade biológica dos solos, que por sua vez, interferem diretamente na qualidade física ao longo dos anos (TAVARES FILHO e TESSIER, 2010).

A conversão de floresta primária em pastagem tem como consequência a perda da biodiversidade e o rápido declínio da fertilidade do solo, com deterioração das propriedades físicas, químicas e biológicas (BRANCO et al., 2021). Diante disso, torna-se essencial o uso de estratégias de manejo em pastagens que preconizem a conservação do solo e da água, sendo necessárias para garantir uma produção agrícola sustentável, uma vez que os efeitos de diferentes manejos refletem na qualidade e nas propriedades do solo (CAMPOS-HERRERA et al., 2008; CECAGNO et al., 2016; OLIBONE et al., 2010), podendo promover melhorias na disponibilidade de água para as plantas (BENGOUGH et al., 2011; REICHARDT e TIMM, 2004; REICHERT et al., 2011; TORMENA et al., 2017).

Portanto, uma solução potencial para a grande maioria destes entraves está nos Sistema de Integração. Estes, baseiam-se na produção sustentável que integra atividades agrícolas, pecuárias e florestais, realizadas na mesma área, em cultivo consorciado, em sucessão ou em rotação, buscando efeitos sinérgicos entre os componentes do agroecossistema, contemplando a adequação ambiental, a valorização do homem e a viabilidade econômica da atividade agropecuária (BALBINO et al., 2011). A intensificação da produção observada no sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF) melhora as condições físicas, químicas e biológicas do solo; aumenta a ciclagem e a eficiência de utilização dos nutrientes;

reduz custos de produção; diversifica e estabiliza a renda na propriedade rural e viabiliza a recuperação de áreas com pastagens degradadas (ALVARENGA et al., 2010).

Além disso, os benefícios da manutenção da palha sobre o solo são amplamente conhecidos e abrangem deste aumento dos estoques de carbono do solo (GALDOS et al., 2009), melhoria da fertilidade do solo (OLIVEIRA et al., 2002), aumento da atividade biológica do solo (SOUZA et al., 2012) a ciclagem de nutrientes (FRANCO et al., 2007). Estudos realizados por URQUIAGA et al., (1991) mostraram que a mineralização da palhada promove retorno para o solo de 33 a 60 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹, além de cerca de 10 a 25 kg de S ha⁻¹ ano⁻¹ em uma produção de 10 a 20 toneladas de palhada ha⁻¹, aumentando significativamente a quantidade de Mg e K e contribuindo para a redução de até 40 % de Al³⁺ colaborando assim para o aumento do pH do solo.

Existem quatro modalidades dentro do sistema de integração: Integração lavoura-pecuária (ILP) ou sistema agropastoril; Integração pecuária-floresta (IPF) ou sistema silvipastoril; Integração lavoura-floresta (ILF) ou sistema silviagrícola; e Integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) ou sistema agrossilvipastoril. As categorias são uma forma alternativa de classificação, podendo ser divididas em Sistemas de integração sem componente florestal (ou seja, ILP) e Sistemas de integração com componente florestal (ou seja, IPF, ILF e ILPF). Independentemente da forma como são classificados ou denominados, os sistemas de integração são sistemas mistos de produção agropecuária e seguem os mesmos princípios, em especial a diversificação de atividades. O uso de sistemas de cultivo intensificados, com diversificação de espécies e maior produção de palhada, vinculado a um manejo do solo que favoreça o crescimento radicular em profundidade e o equilíbrio nutricional, constitui importante ferramenta contra os efeitos decorrentes das adversidades climáticas e a favor da estabilidade da produção e principalmente na física do solo (CALONEGO et al., 2017).

Nesse sentido, é necessário desenvolver estratégias que promovam melhorias na qualidade do solo a fim de favorecer o crescimento radicular e, conseqüentemente, aumentar a eficiência uso de insumos, uso racional da água e promover ganhos de produtividade. Os níveis tecnológicos de manejo são aqui definidos como sendo as áreas que receberam os tratamentos de fertilidade e avanços crescentes de investimentos tecnológicos. Dessa forma, o objetivo deste estudo foi quantificar o efeito de diferentes níveis tecnológicos de manejo

sob sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta sobre (i) a qualidade do solo, baseado em determinados atributos químicos, físicos e da matéria orgânica do solo, (ii) alterações na estabilidade dos agregados solo e (iii) determinar qual o nível tecnológico mais eficaz para melhorar a qualidade do solo no Bioma Cerrado.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

O experimento foi realizado na Fazenda Lagoa dos Currais, localizada no município de Curvelo (latitude: 18° 44' 57" Sul, longitude: 44° 26' 48" Oeste e 653 m de altitude), na região central do estado de Minas Gerais. O município possui temperatura média anual de 27°C, com máximas e mínimas variando de 30 e 15 °C, respectivamente. O índice pluviométrico anual no município é de 1.029 mm, com as chuvas concentradas no período de outubro a março (Figura 1). De acordo com estudos prévios realizados na área, o solo local da região é caracterizado como Latossolo Vermelho Amarelo, sem impedimentos físicos e com características químicas típicas dessa classe, como pH baixo, alta saturação por Al^{3+} e pouca disponibilidade de nutrientes (Tabela 1).

Na fazenda Lagoa dos Currais predomina a bovinocultura de corte e a produção de eucalipto.



Figura 1 - Características climáticas e balanço hídrico climatológico mensal de Curvelo – MG. Fonte: Adaptado de SISDAGRO/INMET (2020).

2.2 Implantação da Unidade de Referência Tecnológica (URT) e delineamento experimental

O experimento foi instalado em delineamento sistemático, no qual foram coletadas um total de 54 amostras deformadas. Foram quatro tratamentos (N1, N2, N3 e N4) com seis

repetições cada para as duas profundidades (0-10cm e 10-20cm). Também foram coletadas amostras de solo no cerrado (três amostras para cada profundidade).

O histórico de produção da Fazenda Lagoa dos Currais era de exploração extensiva da pecuária de corte, praticamente sem investimentos na formação/manutenção das pastagens e manutenção da qualidade do solo, o que vinha acarretando em crescente estado de degradação do solo e queda na produção (Figura 2).

Em 2017 teve início ao que denominamos de Unidade de Referência Tecnológica (URT) para a conversão de área de pastagem degradada em sistema ILPF. Nesse sentido, foram estabelecidos diferentes métodos de manejo com quatro níveis de intensificação/investimento tecnológico. Assim, a área total de 44 hectares foi dividida em quatro piquetes para renovação da pastagem com braquiária brizanta (*Urochloa brizantha* cv *Marandu*) e plantio de eucalipto (*Eucalyptus urophylla* cv AEC I144), com manejo variando de baixa a alta tecnologia em adubação, buscando correspondente melhoria do potencial de produção (Figura 2).



Figura 2 - Imagem de satélite de 13/07/2016, com vista parcial da Fazenda Lagoa dos Currais, destacando a área com 44 hectares de pastagem degradada onde viria a ser implantada a Unidade de Referência Tecnológica (URT) em ILPF (polígono pontilhado amarelo). Abaixo: Croqui da URT com quatro níveis de investimento tecnológico em sistema ILPF e linhas vermelhas paralelas indicando a disposição dos renques de eucalipto. Fonte: Adaptado do Google Earth e acervo da Fazenda Lagoa dos Currais.

Inicialmente, realizou-se um diagnóstico da área, por meio da amostragem e análise do solo, seguidas da interpretação dos resultados (Figura 3; Tabela 1).

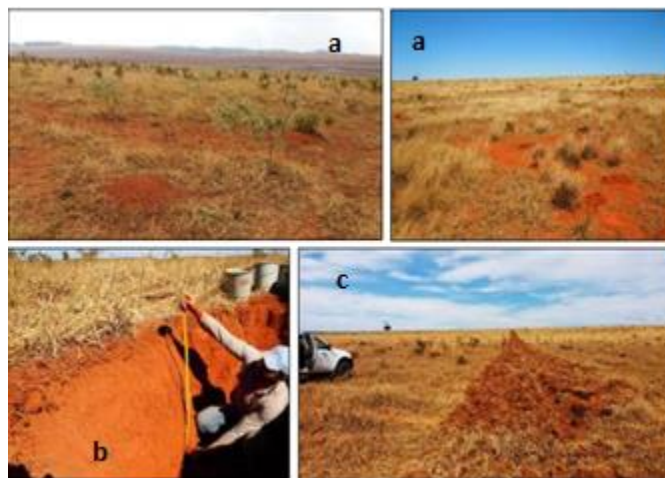


Figura 3 – a) aspecto geral da área de pastagem degradada, antes das operações de condicionamento do solo para o estabelecimento da URT Lagoa dos Currais, b) trincheira para caracterização do solo e c) linha de gradagem demarcando limites dos piquetes da URT com uso de GPS. Fotos: Álvaro Resende.

Com base nos resultados médios das análises de solo (Tabela 1), foram delineados quatro tratamentos com níveis crescentes de investimento na melhoria do solo e estabelecimento de sistemas mais intensivos, conforme descrito nos Tabelas 2 e 3. Os tratamentos foram alocados em quatro piquetes adjacentes, com cerca de 11 hectares cada, compondo então a URT (Figura 2) e denominados da seguinte forma: **Padrão Regional (Nível 1); Sistema Melhorado (Nível 2); Sistema Intensificado (Nível 3); e Produção Potencial (Nível 4).**

Os diferentes níveis tecnológicos têm por base um aumento de custos para o produtor (Tabela 3), por isso os níveis de investimento/intensificação foram ajustados tendo foco principal na combinação braquiária-eucalipto, a qual, além de se adequar ao perfil da propriedade e da região como opção para recuperação de pastagem degradada e aumento de receita por unidade de área. Portanto, a referência à “Produção Potencial” no Nível 4 diz respeito ao condicionamento de um ambiente de cultivo favorável à expressão de alta produtividade da pastagem de braquiária e o eucalipto, sem, necessariamente, atender também aos requisitos para alto rendimento de lavouras anuais mais exigentes.

Tabela 1. Resultados da amostragem inicial do solo (setembro/2017) na área da URT Lagoa dos Currais.

Prof	pH	MOS	P	K	Ca	Mg	Al	CTC	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	V	m
(cm)	-	%	mg dm				..... cmolc dm ⁻³ .....			..... mg dm ⁻³ % ..	
0-20	5,3	3,2	1,3	63	0,7	0,2	0,6	6,7	2	0,2	1,1	58	9	1,6	16	36
20-40	5,2	2,3	0,7	24	0,4	<0,1	0,5	5,4	n.s	n.s	0,4	27	1	<0,1	9	53

Teor de argila = 68%. MOS = matéria orgânica do solo. n.a. = não analisado. Interpretação de acordo com critérios para a profundidade de 0-20 cm (Ca e m de 0-20 e abaixo de 20 cm), propostos por Alvarez V. et al. (1999) e Sousa & Lobato (2004). Análises: pH em água. Teores de P e K determinados com o extrator Mehlich 1. Teor de S por extração com Ca(H₂PO₄)₂. Teor de B determinado por extração com água quente e teores de Cu, Fe, Mn e Zn usando o extrator Mehlich 1.

Tabela 2. Quantidades de corretivos e fertilizantes aplicadas ao longo das etapas de estabelecimento e manutenção de sistema ILPF com diferentes níveis de investimento tecnológico, até os 30 meses, na URT Lagoa dos Currais.

Etapa	Corretivos, Fertilizantes e Operações	Níveis de Investimento				Data
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	
		Marandu/Eucalipto Padrão Regional	Marandu/Eucalipto Sistema Melhorado	Sorgo/Mar./Euc. Sistema Intensificado	Sorgo/Mar./Euc. Produção Potencial	
Construção da fertilidade	Calcário dolomítico PRNT 95% a lanço (t/ha)	1,1 (V=32%)	1,9 (V=43%)	2,6 (V=53%)	3,8 (V=70%)	set/17
	Gesso agrícola a lanço (t/ha)	1,1	1,1	1,1	2	set/17
	P a lanço (kg/ha de NPK 10-50-00 / P2O5)	81/40	170/85	170/85	170/85	out/17
	K a lanço (kg/ha de cloreto de potássio / K2O)	-	-	80/48	131/79	out/17
	Micronutrientes a lanço (kg/ha de FTE BR12)	-	-	-	51	out/17
Cultivo de sorgo	P sulco sorgo (kg/ha de NPK 10-50-00 / P2O5)	-	-	112/56	138/69	nov/17
	N junto ao P (lanço + sulco em kg/ha de N)	8 + 0	17 + 0	17 + 11	17 + 14	nov/17
	N em cobertura (kg/ha de Ureia / N)	-	87/40	140/64	140/64	dez/17
Após corte silagem	P após silagem (kg/ha NPK 09-50-00 / P2O5)	-	-	-	96/48	abr/18
	N junto ao P após silagem (kg/ha de N)	-	-	-	9	abr/18
	N após silagem (kg/ha de Ureia / N)	-	-	-	50/30	abr/18
	K após silagem (kg/ha cloreto de potássio / K2O)	-	-	98/45	98/45	abr/18
Adubação de manutenção	N em cobertura (kg/ha de Ureia / N)	95/43	95/43	-	-	dez/18
	N em cobertura (kg/ha de Ureia / N)	-	-	113/51	113/51	fev/19
	N em cobertura (kg/ha de Ureia / N)	-	-	-	113/51	fev/19
	N em cobertura (kg/ha de Ureia / N)	-	100/45	100/45	100/45	dez/19
	NPK em cobertura (kg/ha de NPK 10-10-10)	-	-	95	164	jan/20

*Detalhes operacionais sobre a aplicação dos insumos são apresentados ao longo do texto nos tópicos seguintes. As aplicações de nutrientes nas etapas “Após corte silagem” e “Adubações de manutenção” foram por distribuição a lanço na pastagem.

Tabela 3. Quantidades totais de corretivos e nutrientes aplicadas conforme o nível de investimento tecnológico em sistema ILPF, no período de 09/2017 a 03/2020 (30 meses), e respectivos custos, na URT Lagoa dos Currais

Corretivos e Nutrientes		Níveis de Investimento			
		Nível 1 Marandu/Eucalipto Padrão Regional	Nível 2 Marandu/Eucalipto Sistema Melhorado	Nível 3 Sorgo/Mar./Euc. Sistema Intensificado	Nível 4 Sorgo/Mar./Euc. Produção Potencial
Calcário (t/ha)	dolomítico	1,1	1,9	2,6	3,8
Gesso (t/ha)	agrícola	1,1	1,1	1,1	2,0
Nitrogênio (kg/ha de N)		51	145	242	357
Fósforo (kg/ha de P2O5)		40	85	150	218
Potássio (kg/ha de K2O)		-	-	57	125
Micronutrientes (kg/ha de FTE BR12)		-	-	-	51
Custo dos insumos + operações mecanizadas (R\$/ha)		1.091,81	1.701,90	2.611,25	3.924,05

2.2.1 Manejo da fertilidade

As operações de calagem, gessagem e adubações corretivas, de acordo com cada nível de investimento (Tabela 2), foram realizadas conforme ilustrado na Figura 4: (i) Distribuição de calcário a lanço na área de pastagem degradada, seguida de incorporação profunda (até cerca de 20 cm) com grade aradora pesada, no final de setembro de 2017; (ii) Distribuição do gesso agrícola a lanço após a incorporação do calcário; (iii) Distribuição a lanço dos fertilizantes das adubações corretivas: fosfato (como formulado NPK 10-50-00), cloreto de potássio (60% de K₂O) e micronutrientes (FTE BR12), quando pertinente; (iv) Incorporação do gesso e fertilizantes com grade intermediária a mais ou menos 10 cm de profundidade; (v) Gradagem niveladora deixando a área pronta para semeio no início de novembro de 2017.

No menor nível de investimento (Padrão Regional), buscou-se representar a situação das fazendas de gado de corte da região que fazem uso somente de quantidades módicas de fertilizante fosfatado objetivando a construção da fertilidade do solo na formação de pastagens. No segundo nível de investimento (Sistema Melhorado) incrementou-se um pouco mais a fosfatagem corretiva. Já nos níveis seguintes, foram feitos investimentos crescentes

em fosfatagem e potassagem corretivas (Nível 3 – “Sistema Intensificado”), incluindo até micronutrientes (Nível 4 – “Produção Potencial”), de modo a viabilizar a introdução do sorgo forrageiro na implantação do sistema ILPF. Nesses dois últimos níveis, as adubações realizadas no sulco de semeadura do sorgo e após o corte para silagem complementaram a construção da fertilidade do solo com P e K (Tabela 2), considerando que as aplicações desses nutrientes deixam efeito residual, principalmente do P.



Figura 4 - a) aferição da regulagem do equipamento para aplicação de corretivos; b) distribuição de calcário; c) incorporação do calcário com grade aradora pesada a 20 cm; d) detalhe da grade aradora; e) distribuição do gesso agrícola após incorporação do calcário; f) distribuição do fosfato; g) incorporação com grade intermediária a 10 cm; h) gradagem niveladora. Fotos: Álvaro Resende.



Figura 5 - a) semeadora de grãos miúdos; b) detalhe da caixa de sementes para braquiária; c) grade niveladora fechada para incorporação das sementes de braquiária; d) semeadura e adubação de base do sorgo; e) primeira adubação de cobertura no sorgo; f) equipamento sulcador-adubador para eucalipto; g) plantio de mudas clonadas de eucalipto; h) linha de eucalipto logo após o pegamento das mudas. Fotos: Álvaro Resende.

Ainda na Figura 5, pode-se visualizar a operação de semeadura do sorgo e a etapa de adubação nitrogenada em cobertura com ureia no estágio de quatro folhas, realizada nos piquetes dos Níveis 2, 3 e 4. Uma segunda cobertura foi aplicada somente nos Níveis 3 e 4, quando o sorgo apresentava seis folhas (Tabela 2).

A etapa de semeadura da braquiária e do sorgo ocorreu na primeira quinzena de novembro de 2017, com as linhas do eucalipto já demarcadas previamente utilizando-se GPS. As mudas clonadas (*Eucalyptus urophylla* cv AEC I144) foram plantadas na primeira semana de janeiro de 2018 (Figura 5). O espaçamento adotado foi de 20 m x 4 m entre linhas e plantas, respectivamente. Operações para fornecimento de nutrientes foram realizadas especificamente nas linhas de eucalipto, envolvendo distribuição de fertilizante na abertura dos sulcos e em covetas próximas às mudas, além de aplicações em cobertura e em

pulverizações foliares. Essas adubações do eucalipto foram iguais em todos os piquetes da URT (Tabela 4).

Tabela 4. Quantidades de fertilizantes aplicadas e custo correspondente à adubação para o estabelecimento do eucalipto em sistema ILPF, no período de 01/2018 a 03/2020 (26 meses), na URT Lagoa dos Currais.

Etapa	Fertilizantes e Operações	Quantidade (Kg/ha)	Data
Plantio	Adubo NPK 10-28-10 + (0,3% B, 0,6% Cu, 0,8% Zn) no sulco	30	jan/18
	Fosfato monoamônico (MAP) em solução p/ mudas	0,02	jan/18
	Adubo NPK 10-28-10 + (0,3% B, 0,6% Cu, 0,8% Zn) na coveta	20	jan/18
Adubações foliares e em cobertura	Ácido bórico em pulverização foliar	1,00	jul/18
	MAP purificado em pulverização foliar	0,20	jul/18
	Cloreto de potássio purificado em pulverização foliar	0,20	jul/18
	Adubo NPK 20-05-15 em cobertura	50	out/18
	Ácido bórico em pulverização foliar	1,00	set/18
	MAP purificado em pulverização foliar	0,20	set/18
	Cloreto de potássio purificado em pulverização foliar	0,20	set/18
	Adubo NPK 09-36-09 em cobertura	50,00	nov/18
	Ureia em cobertura	30,00	nov/18
	Cloreto de potássio em cobertura	30,00	nov/18
	Custo de insumos + operações mecanizadas (R\$/ha): 460,61		

* O manejo nutricional específico do eucalipto foi padronizado na URT Lagoa dos Currais, sendo o mesmo nos quatro níveis de investimento tecnológico em ILPF. Espaçamento de 20 m entre linhas x 4 m entre plantas.

Em março de 2018, o sorgo consorciado com braquiária foi colhido para silagem e a braquiária solteira cortada para fenação, conforme a composição de cada piquete. Desde então, toda a URT permaneceu ocupada pela pastagem e o eucalipto (sistema silvipastoril), ocorrendo a primeira entrada de novilhas Guzerá para pastejar em meados de dezembro de 2018 (Figura 6). Nessa fase, iniciaram-se as adubações de manutenção da braquiária, variando a periodicidade de aplicação e as dosagens de fertilizantes nos piquetes, de acordo com o nível de investimento, como descrito na Tabela 2. Desse modo, programa de reposição de nutrientes à pastagem ao longo tempo também obedeceu e reforçou o contraste dos níveis tecnológicos planejados para a URT.



Figura 6 - a) sorgo consorciado com braquiária nos Níveis 3 e 4 sendo colhido para silagem; b) braquiária solteira nos Níveis 1 e 2 cortada para feno; c) primeira entrada de novilhas em pastejo; d) adubação de manutenção da braquiária; e) grade amostral para avaliações do solo e da pastagem em pontos georreferenciados; f) coleta de amostra de solo; g) leitura do índice de vegetação NDVI da pastagem; h) amostragem de biomassa do capim. Fotos: Miguel Gontijo Neto, Gustavo de Salvo e Álvaro Resende. Imagem de satélite: adaptada de Google Earth®.

2.3 Amostragem de solo e análises físicas

A amostragem para fins de caracterização da estabilidade de agregados foi realizada em duas profundidades (0 – 10 e 10 – 20 cm), em dezembro de 2020, aproximadamente três anos após a introdução dos sistemas de manejo na URT. Foram coletadas 54 amostras deformadas. Assim, as amostras de solo coletadas em campo foram submetidas à análise laboratorial no laboratório de solos da Universidade Federal de São João del Rei - Campus Sete Lagoas.

2.4 Amostragem de solo e análises químicas

Foram determinados os valores de pH em água, cálcio (Ca), magnésio (Mg) alumínio (Al), potássio (K), fósforo (P), carbono e nitrogênio orgânico total, granulometria e umidade atual do solo. O pH em água foi determinado pela relação solo: solução de 1:2,5. Os teores de Ca, Mg e Al trocáveis foram extraídos com KCl 1 mol L⁻¹ e determinados por espectroscopia de absorção atômica. O potássio (K) foi extraído com Mehlich-1 e quantificado por fotometria de chama. O fósforo disponível (P) foi extraído com Mehlich-1 e quantificado por colorimetria. Todas as análises de rotina foram efetuadas segundo Embrapa (1997). Os conteúdos de carbono orgânico total foram quantificados por oxidação da matéria orgânica via úmida com K₂Cr₂O₇ 0,167 mol L⁻¹ em meio sulfúrico com aquecimento externo (Yeomans e Bremner, 1988).

2.5 Método do Tamisamento Úmido

Após coleta e identificação das amostras, o material foi deixado em local protegido, sob folhas de jornal por um período mínimo de 48 horas, onde foi seco ao ar. Após a secagem ao ar, ocorreu o peneiramento de cada amostra num conjunto de duas peneiras de malhas de 8 mm e 4 mm respectivamente, onde apenas o solo retido na peneira de malha menor foi utilizado na análise de agregados. Após peneiramento, cobriu-se o fundo das placas de petri com papel filtro e pesou-se 25 g deste solo distribuindo o solo sob as placas, até que os agregados permanecessem espalhados de forma homogênea. Além dos 25 g, foram pesados paralelamente mais 10 g de agregados de cada amostra para determinar sua umidade. O solo nas placas foi saturado gradualmente com auxílio de uma pisseta. O jato de água destilada foi sempre direcionando para o papel filtro para evitar a quebra dos agregados.

O tempo de saturação foi de no mínimo 15 minutos, antes da transferência cuidadosa dos agregados para os conjuntos de peneiras menores, com auxílio de uma pisseta com água. Nesse procedimento, todo o conteúdo do papel filtro foi lavado até que não restasse nenhum agregado no papel filtro. As peneiras foram ajustadas no equipamento de Yoder na seguinte ordem de cima para baixo: 2; 1; 0,5; 0,25 e 0,09 mm. Colocados os dois conjuntos de peneiras no agitador e tendo conferido o nível da água, o equipamento foi ligado e ajustado para 10 rpm e permaneceu durante 15 minutos em agitação. O conteúdo de cada peneira foi transferido cuidadosamente para suas respectivas formas, já identificadas e levadas à estufa

para secagem, onde permaneceram por, no mínimo, 24 horas a 105° C. Após esse período, cada recipiente foi retirado e pesado, tendo seus valores anotados.



Figura 7 – a) amostras de solo armazenadas e identificadas; b) solo seco ao ar; c) peneiras de malha 8mm e 4mm; d) solo seco ao ar no conjunto de peneiras (8mm em cima e 4mm em baixo); e) Leila D. Abreu (mãe) ajudando no laboratório; f) fôrma com 10g e placa de Petri com 25g, ambos já pesados. Fotos: Polyanna Abreu Corrêa.



Figura 8 – a) amostras de solo sendo saturadas com pisseta e água destilada; b) amostra saturada após 15 minutos; c) conjunto de peneiras no Agitador de Yoder; d) agitador de Yoder configurado para 10 r.p.m.; e) solo retirado das peneiras, em cinco tamanhos/classes diferentes; f) conjunto de peneiras. Fotos: Polyanna Abreu Corrêa.

2.6 Análise de agregados

Os principais índices associados ao estudo de agregados, e comumente usados na avaliação da qualidade de solo na literatura, são: o diâmetro médio geométrico (DMG), o diâmetro médio ponderado (DMP) e o índice de estabilidade de agregados (IEA) (CASTRO FILHO et al., 2002; CASTRO FILHO et al., 1998, e KEMPER e ROSENAU, 1986).

Para representar a distribuição do tamanho dos agregados utilizou-se o (DMP) que facilita a comparação entre agregação de diferentes solos e horizontes de um mesmo solo. Para o cálculo do DMP utilizou-se da equação proposta por (VAN BAVEL, 1949):

$$DMP = \sum_{i=1}^n (x_i \cdot w_i)$$

Onde x_i = diâmetro médio das classes (mm) e w_i = % dos agregados retidos em uma determinada peneira (forma decimal).

O valor de DMP é tanto maior quanto maior for a percentagem de agregados grandes retidos nas peneiras com malhas maiores. Não se conhecem números absolutos para

interpretar, através da análise de agregados, quando um solo pode ser considerado de boas ou más condições físicas. Por isso, faz-se referência como sendo de baixa estabilidade, solos com índice de agregação ou DMP abaixo de 0,5 mm (CAIXETA, 2019). Tais solos tornam-se impermeáveis quando irrigados, formando-se crostas à superfície. Já os solos com diâmetro médio ponderado > 0,5 mm são considerados relativamente resistentes ao esboroamento e à dispersão.

Já o DMG representa uma estimativa da classe de agregados de maior ocorrência, e é expresso por:

$$DMG = 10 \left(\frac{\sum(n \log d)}{\sum n} \right)$$

Onde n = % agregados em cada classe de tamanho e d = diâmetro médio da classe.

Para o IEA, um cálculo proposto por CASTRO FILHO (1998), onde se utiliza a classe de microagregados para a obtenção do índice, e propõe-se a correção de areia considerando as partículas de diâmetro entre 2,0 e 0,053 mm. O IEA representa uma medida da agregação total do solo e não considera a distribuição por classes de agregados. Quanto maior a quantidade de agregados < 0,25 mm, menor será o IEA:

$$IEA = \left(\frac{\text{Peso da amostra seca} - \text{wp25} - \text{areia}}{\text{Peso da amostra seca} - \text{areia}} \right) 100$$

Onde w_p = peso dos agregados de cada classe (%) e w_{p25} = peso dos agregados da classe < 0,25 mm.

2.7 Análise dos dados

Foi feito uma análise descritiva com média, mediana e desvio padrão da média. Por se tratar de uma amostragem com pseudo-réplicas, em função da restrição de casualização inerente ao experimento conduzido em grandes faixas ou piquetes (CECAGNO et al., 2016), os dados de cada atributo do solo foram submetidos a análise descritiva, sendo que as duas

profundidades foram avaliadas separadamente pela análise de componentes principais (ACP), dentro dos diferentes níveis tecnológicos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As características iniciais do solo na área de estudo encontravam-se numa condição representativa da problemática verificada em toda a região Centro-Norte do estado, onde a atividade agropecuária tradicionalmente é conduzida de forma extensiva, em solos de cerrado caracterizados por elevada acidez e pobreza generalizada de nutrientes, com níveis insuficientes de investimento tecnológico, culminando na degradação das pastagens ao longo dos anos (Figura 3).

O solo predominante na área é um Latossolo Vermelho Amarelo com perfil sem impedimentos físicos aparentes (Figura 3), sendo caracterizado basicamente pelos níveis mais acentuados de acidez, presença de alumínio trocável em solução e baixa saturação por bases, (Tabela 1). Esses são os principais indicadores que confirmam a necessidade de intervenções no manejo para a construção da fertilidade no perfil para melhoria na qualidade produtiva da pastagem. Por possuir elevado grau de intemperismo, os latossolos apresentam baixa fertilidade natural, elevada estabilidade de agregados, decorrente da presença dos óxidos (óxidos, oxidróxidos e hidróxidos) de alumínio e ferro presentes na fração argila associados a uma intensa atividade biológica ao longo de sua gênese (SILVA; RESCK, 1997). Além disso, apresentam baixa densidade do solo, alto volume de macroporos e ampla faixa de friabilidade, o que favorece o seu manejo (OLIVEIRA et al., 2004). O teor de matéria orgânica é interpretado como “médio” para um solo de textura muito argilosa (68 % de argila), mas diminuí sensivelmente abaixo de 20 cm de profundidade, reflexo da dificuldade de desenvolvimento de raízes de gramíneas que ainda persistiam em proporções variáveis de espécies no solo da área de estudo (*braquiária decumbens*, *andropogon* e outras), antes do experimento.

Um dos principais fatores que nos indicam a ocorrência de uma área degradada é justamente a heterogeneidade espacial nas manchas de vegetação, coloração e porte diferentes, queda progressiva do teor de matéria orgânica, devido oxidação microbiana e consequente perda da vida no solo, que é responsável pela sua qualidade. De fato, é notório o conhecimento de que a matéria orgânica do solo é um dos principais agentes de agregação

do solo (WENDLING et al., 2012). Além desses fatores, ocorrem os problemas químicos e físicos, decorrentes da sua oxidação e baixo acúmulo no solo. LANA et al., (2018) analisaram um sistema de integração de 20 anos de estabelecimento no estado de MG em sistemas de *Eucalyptus grandis*, com densidade de 150 árvores/ha consorciado com *Urochloa brizantha* comparado com um sistema de recuperação natural de áreas degradadas. Observou-se aumento do conteúdo de matéria orgânica no sistema integrado com eucalipto, sendo 63% superior na camada de 0-20 cm se comparado com o outro sistema que foi de 19 %. Este resultado foi atribuído às baixas taxas de oxidação microbiana e contínuo aporte de biomassa, justificadas pela composição química da camada de serapilheira gerada pelo componente arbóreo (eucalipto).

Mudanças no input de biomassa vegetal na superfície do solo alteram as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, alterando também a capacidade de troca catiônica e o carbono da biomassa microbiana (ARAÚJO et al., 2007). A formação e estabilização dos agregados do solo ocorrem mediante a atuação de processos físicos, químicos e biológicos. Esses, por sua vez, atuam por mecanismos próprios, nos quais estão envolvidos agentes da agregação e da estabilização. Entre esses, os principais são: argila, sílica coloidal, metais polivalentes, carbonato de cálcio, óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, exsudatos orgânicos e substâncias orgânicas provenientes da ação dos microrganismos (SILVA, MIELNICZUK, 1997). As raízes das plantas suprem o solo de resíduos e exsudações de substâncias orgânicas, produzindo agregação estável e estas envolvem fisicamente os microagregados do solo (OADES, 1978).

O IEA aumenta à medida que a profundidade aumenta nas áreas de pastagem com eucalipto e cerrado (Tabela 6). O maior IEA foi observado no N3 em relação à área de referência de CN, se comparado com os demais níveis na camada de 0-10 cm (Tabela 6). Os níveis tecnológicos mais avançados, associados aos maiores teores de Ca^{2+} proveniente da calagem, são favoráveis à manutenção dos agregados no solo (Tabela 1). No entanto, na profundidade de 10-20 cm todos os tratamentos tiveram um acréscimo nos IEA, com exceção do N3. O não revolvimento do solo favorece a conservação da matéria orgânica (CAMPOS et al., 1995 e FRAZÃO et al., 2010) nestas camadas mais profundas.

Nos níveis tecnológicos não há tanta diversidade de espécies vegetais, havendo cobertura da superfície do solo com dominância de gramíneas em subcoba, diferente do que

acontece em áreas naturais do cerrado, usada com referência de conservação. Como as gramíneas atuam na agregação do solo principalmente pela renovação periódica do sistema radicular e pela uniformidade de distribuição dos exsudados no solo, que estimulam a atividade microbiana, corroboram com os resultados da formação e estabilização dos agregados (SILVA; MIELNICZUK, 1997). Os resultados indicam que a maior quantidade de raízes de gramíneas associadas com o eucalipto tem promovido um efeito semelhante em profundidade, semelhante ao cerrado. (Tabela 6).

Observa-se que à medida que a profundidade aumenta, a porcentagem dos agregados maiores (8-2 mm) diminui. Na faixa de 0-10 cm, observa-se que as classes de agregados retidos em 8-2 mm para N1, N3 e N4 se destacaram. Na faixa de 10-20 cm, o N3 supera os demais níveis, apresentando valores maiores para agregados retidos em 8-2 mm e provável agregação favorável nessa camada. De acordo com a Tabela 5, para todos os níveis tecnológicos, o carbono orgânico diminuiu com a profundidade. Ainda assim, seus níveis de matéria orgânica foram melhorados consideravelmente se comparados com o CN, devido à aplicação dos fertilizantes. A diminuição da agregação com a profundidade foi relatada por SILVA e MIELNICZUK (1997) utilizando gramíneas perenes (Setária e Pangola). Segundo os autores, esses resultados estão associados aos maiores teores de matéria orgânica e maior distribuição de raízes nas camadas superficiais, uma vez que a matéria orgânica é considerada por muitos pesquisadores como o principal agente de estabilização de agregados (TISDALL; OADES, 1982; GANG et al., 1998). A classe 8-2 mm foi a que teve a maior porcentagem e a classe 0,25-0,09 mm foi a que obteve menor porcentagem superficialmente. Os menores valores observados para os agregados retidos em 8-2 mm foram observados no tratamento N2 na profundidade 0-10 cm, e deveram-se à redução da porcentagem das classes de agregados maiores e aumento da porcentagem das classes de agregados menores. A estabilidade dos agregados em profundidade pode ser explicada por MACEDO (2009), que relatou que os sistemas integrados aumentam a estabilidade de agregados e a taxa de infiltração de água e diminuem a densidade e compactação em relação à sistemas exclusivos, corroborando com os resultados deste trabalho.

Maiores proporções de macroagregados e carbono presentes nessas frações também foram encontrados por outros estudos similares (GAMA- RODRIGUES et al., 2010; DOU et al., 2016 e GIOACCHINI et al., 2016), que mostraram que a maior classe de agregados foi

o maior reservatório de C em solos sob sistemas que recebem maior adição de matéria orgânica, como plantio direto ou cultivo mínimo, sistemas florestais e agroflorestais. Esses resultados enfatizam a importância da preservação da floresta e das plantações de árvores como parte de paisagens agrícolas. Além disso, a área de pastagem possui maior biomassa de raízes finas, raízes mais longas e uma maior taxa de ciclagem de raízes do que as florestas plantadas (VICENTE et al., 2019). Portanto, as pastagens são uma importante fonte de carbono orgânico (SOLLY et al., 2013; GUO et al., 2007), desde que manejadas corretamente.

O N3, embora ainda diferente do CN, mostra tendência de restabelecer o equilíbrio natural na camada superficial do solo, pois apresenta um maior teor de Ca^{2+} em todas as camadas (Tabela 1). A calagem, frequentemente realizada em áreas agricultáveis, além de elevar o pH do solo, diminui a atividade de Al^{3+} , fornece Ca^{2+} e Mg^{2+} para as plantas melhorando o ambiente do sistema radicular (SOUZA et al., 2007). Também é possível verificar mudanças nos níveis de P do solo, se comparado com o cerrado nativo. A deficiência deste nutriente praticamente inviabiliza que, qualquer tentativa de introdução de espécies forrageiras ou outras culturas seja bem-sucedida (RESENDE et al., 2020). Em uma extensa revisão de literatura sobre agregação, SIX et al. (2004) mostraram que o cálcio é um elemento de suma importância para o processo de estabilização da matéria orgânica e agregados do solo, atuando diretamente na complexação organo-mineral, com ação na microagregação e macroagregação, por estimular atividades biológicas em solos ácidos.

Tabela 5. Efeito de diferentes níveis tecnológicos, em diferentes profundidades, sobre os teores de matéria orgânica do solo.

TRAT	Carbono orgânico (g kg ⁻¹)		
	camada (cm)		
	0 - 10 cm	10-20	20-40
Solo antes de ser corrigido			
CN	-	1,86	1,51
Um ano após correção do solo			
N1	1,92	1,80	1,34
N2	1,98	1,51	1,45
N3	2,03	1,63	1,63
N4	2,09	1,86	1,63
Dois anos após correção do solo			
N1	2,15	1,98	1,63
N2	2,03	1,80	1,40
N3	2,33	1,98	1,57
N4	2,67	2,03	1,45

Os dados observados em relação ao carbono orgânico (Tabela 5), mostram que a partir do primeiro ano de correção do solo, os níveis conseguem um incremento de M.O. em ambas as camadas de profundidade, se comparados com o solo do cerrado nativo. O DMP variou de 2,40 mm a 2,62 mm e apresentou diferenças significativas entre os usos atuais e entre profundidades (Tabela 6). Para análise dos DMG e DMP, os parâmetros no N3 também se mostraram superiores aos outros tratamentos mostrando que investimentos tecnológicos delineados nesse tratamento estão interferindo positivamente na física dos solos quando comparado com os demais.

De acordo com MARCHÃO et al. (2007), as propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos são componentes importantes relacionados à produtividade, visto que as plantas carecem de solos bem estruturados, sendo por isso, a escolha do sistema de manejo

um dos passos de fundamental importância para a manutenção da qualidade e da produtividade do sistema, e deve variar de acordo com cada tipo de solo.

Os altos valores de DMP indicam a alta estabilidade de agregados deste solo, independentemente do nível, uma vez que se faz referência como sendo de boa estabilidade, solos com índice de agregação ou DMP acima de 0,5mm. Comparando-se as profundidades dentro dos tratamentos, o N2 apresentou menor DMP na camada de 0-10 cm e o N4 na camada de 10-20 cm.

Tabela 6. Resultados dos parâmetros físicos diâmetro médio geométrico, diâmetro médio ponderado, índice de estabilidade de agregados e classes de agregados avaliados em um Latossolo Vermelho Amarelo cultivado com diferentes sistemas de uso e manejo do solo na Fazenda Lagoa dos Currais - Curvelo (MG).

TRAT	DMG ¹	DMP ²	IEA ³	Classes de agregado (mm)					
				8-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,09	<0,09
----- mm -----				----- % -----					
0 - 10 cm									
N1	2,13	2,53	65,05	76,71	6,04	5,33	5,36	3,48	3,08
N2	1,99	2,44	81,01	68,73	7,06	6,19	6,52	3,48	8,01
N3	2,30	2,58	89,85	75,82	5,82	5,47	4,06	1,97	6,85
N4	1,86	2,54	77,02	73,57	6,05	5,78	4,83	3,56	6,21
CN	2,03	2,40	90,6	63,34	11,46	7,81	4,66	2,10	10,63
10 - 20 cm									
N1	2,06	2,48	83,47	71,70	5,86	5,43	6,13	3,51	7,38
N2	2,12	2,51	87,49	65,29	17,56	5,68	5,22	2,60	3,64
N3	2,20	2,55	85,69	73,48	6,69	5,19	4,37	2,81	7,47
N4	1,79	2,44	88,18	62,92	7,79	6,53	5,66	2,33	14,76
CN	2,35	2,62	92,34	75,57	8,93	4,45	2,99	1,41	6,65

(1)Diâmetro médio geométrico, (2)Diâmetro médio ponderado, (3)Índice de estabilidade de agregados. (N1 = Nível 1, N2 = Nível 2, N3 = Nível 3, N4 = Nível 4 e CN = Cerrado Nativo).

MOTA et al. (2013), avaliando a qualidade física de um Cambissolo, observaram que, sob área de cerrado nativo, houve maior estabilidade de agregados quando comparado a diferentes sistemas de manejo, corroborando com os dados deste estudo. COUTINHO et al. (2010) e ROZANE et al. (2010) também encontraram maior estabilidade de agregados em vegetação natural. SALTON et al. (2008), avaliando estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários, comprovaram que a pastagem permanente ou a rotação com cultura em semeadura direta favoreceram a formação de agregados estáveis de maior tamanho, em

relação a sistemas apenas com culturas, explicando que um manejo que mantenha a M.O. e a qualidade dos solos próximos da área de referência encontra o ponto de equilíbrio.

Comparativamente às condições médias iniciais da área de pastagem degradada (Tabela 1), os atributos da fertilidade do solo apresentaram melhorias significativas, proporcionais aos níveis de aplicação de corretivos e fertilizantes, nas amostragens realizadas após um ano (Tabela 7) e dois anos (Tabela 8) da implantação da URT. Graças aos maiores investimentos em calagem, gessagem e adubações corretivas, os teores e saturação por Al (m) foram reduzidos nos Níveis 3 e 4, enquanto os valores de P, K, Ca, Mg, S e V foram incrementadas, podendo estes ser interpretados como médios a adequados do ponto de vista agronômico.

Tabela 7. Resultados e interpretação de análises da amostragem de solo após um ano de implantação de sistema ILPF com diferentes níveis de investimento tecnológico na URT Lagoa dos Currais. Médias de 12 amostras compostas. Novembro/2018.

Prof.	Investi- mento	pH	MOS	P	K	Ca	Mg	Al	CTC	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	V	m
(cm)		-	%	... mg dm ⁻³ ...	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	Nível 1	5,4	3,3	2,1	50	1,2	0,5	0,2	6,6	15	0,2	0,9	48	19	0,4	28	7
0-10	Nível 2	5,3	3,4	2,2	42	1	0,5	0,2	6,2	14	0,2	0,9	48	19	0,3	26	12
	Nível 3	5,2	3,5	4,5	51	1,5	0,7	0,2	6,8	11	0,2	0,8	54	14	0,2	34	4
	Nível 4	5,3	3,6	4,7	68	1,6	0,8	0,2	6,5	15	0,3	0,8	66	12	0,8	41	1
	Nível 1	5,0	3,1	1,4	38	0,8	0,3	0,2	5,2	27	0,2	0,9	75	11	0,3	23	17
10-20	Nível 2	4,8	2,6	1,4	32	0,7	0,3	0,4	5,5	21	0,2	0,8	52	15	0,1	21	28
	Nível 3	5,0	2,8	1,7	38	1,1	0,5	0,2	5,1	20	0,1	0,7	39	10	0,1	32	14
	Nível 4	4,9	3,2	1,6	41	1,0	0,4	0,3	5,1	34	0,3	0,7	48	8	0,1	30	19
	Nível 1	5,0	2,6	0,9	28	0,5	0,2	0,3	4,7	9	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	16	29
20-40	Nível 2	5,0	2,3	1,3	26	0,5	0,2	0,4	4,9	9	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	16	37
	Nível 3	4,9	2,5	1,5	32	0,7	0,2	0,4	5,1	9	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	19	29
	Nível 4	4,9	2,8	2,1	39	0,8	0,2	0,4	4,9	19	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	22	26

Níveis de Investimento: 1 = Padrão regional; 2 = Sistema Melhorado; 3 = Sistema Intensificado; 4 = Produção Potencial. Teor de argila = 68%. MOS = matéria orgânica do solo. n.a. = não analisado. Interpretação adaptada de critérios para a profundidade de 0-20 cm (Ca e m de 0-20 e abaixo de 20 cm), propostos por Alvarez V. et al. (1999) e Sousa & Lobato (2004). Análises: pH em água. Teores de P e K determinados com o extrator Mehlich 1. Teor de S determinado por extração com Ca(H₂PO₄)₂. Teor de B determinado por extração com água quente e teores de Cu, Mn e Zn determinados usando o extrator Mehlich 1.

Tabela 8. Resultados e interpretação de análises da amostragem de solo após dois anos de implantação de sistema ILPF com diferentes níveis de investimento tecnológico na URT Lagoa dos Currais. Médias de 12 amostras compostas. Dezembro/2019.

Prof.	Investi- mento	pH	MOS	P	K	Ca	Mg	Al	CTC	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	V	m
(cm)		-	%	. mg dm ⁻³		..... cmolc dm ⁻³	.....	.....	.....	.....	.....	mg dm ⁻³	.....	.....	.....	%	.....
0-10	Nível 1	4,8	3,7	2,7	35	1,2	0,5	0,2	7,2	6	0,3	1,0	62	23	0,1	25	11
	Nível 2	4,8	3,5	2,9	34	1,2	0,6	0,3	7,6	5	0,2	0,9	66	16	0,1	25	16
	Nível 3	5,1	4	3,5	59	1,9	1,0	0,2	8,1	4	0,3	0,9	82	17	0,1	38	6
	Nível 4	5,2	4,6	3,7	75	2,1	1,1	0,2	8,3	5	0,4	0,9	80	15	2,7	40	5
10-20	Nível 1	4,8	3,4	2,3	23	1,1	0,4	0,4	7,1	14	0,3	0,9	65	17	0,1	21	23
	Nível 2	4,6	3,1	2,1	19	0,7	0,3	0,6	6,9	9	0,2	0,9	55	11	0,1	15	37
	Nível 3	4,9	3,4	2,5	28	1,6	0,7	0,4	7,6	12	0,3	0,9	79	12	0,1	31	16
	Nível 4	4,8	3,5	2,5	30	1,3	0,6	0,4	7,2	19	0,4	0,9	74	9	0,1	27	20
20-40	Nível 1	4,7	2,8	2,5	16	0,6	0,2	0,5	6,3	7	0,2	0,9	54	14	0,1	13	39
	Nível 2	4,6	2,4	2,2	9	0,6	0,1	0,7	5,9	8	0,1	0,9	56	10	0,1	13	49
	Nível 3	4,8	2,7	2,7	22	1,2	0,4	0,6	6,6	10	0,2	1,0	77	9	0,1	25	29
	Nível 4	4,6	2,5	2,3	17	0,8	0,3	0,7	6,1	15	0,3	0,8	59	5	0,1	18	41

Níveis de Investimento: 1 = Padrão regional; 2 = Sistema Melhorado; 3 = Sistema Intensificado; 4 = Produção Potencial. Teor de argila = 68%. MOS = matéria orgânica do solo. n.a. = não analisado. Interpretação adaptada de critérios para a profundidade de 0-20 cm (Ca e m de 0-20 e abaixo de 20 cm), propostos por Alvarez V. et al. (1999) e Sousa & Lobato (2004). Análises: pH em água. Teores de P e K determinados com o extrator Mehlich 1. Teor de S determinado por extração com Ca(H₂PO₄)₂. Teor de B determinado por extração com água quente e teores de Cu, Mn e Zn determinados usando o extrator Mehlich 1.

O aumento da fertilidade do solo foi correlato aos acréscimos obtidos no conteúdo de matéria orgânica do solo, confirmando o uso e manejo sustentável, por meio do sistema estudado. Deste modo, a determinação do teor de matéria orgânica do solo e seus constituintes torna-se uma ferramenta indispensável para a avaliação da qualidade do solo (ROLDFIELD, et al., 2018).

Os resultados indicam maiores divergências entre os atributos estudados, quando comparados os Níveis 3 e 4 em relação aos Níveis 1 e 2, em relação à elevação da qualidade química do solo, obtida com manejo diferenciado da fertilidade nos dois primeiros anos do sistema ILPF e na física do solo após três anos. É importante destacar que os atributos químicos no tratamento chamado de “Sistema Intensificado” – Nível 3 e, especialmente naquele em que se desejava chegar à “Produção Potencial” do sistema braquiária-eucalipto – Nível 4 (Tabela 7 e 8), ainda ficaram abaixo do esperado quando se busca áreas para alta produtividade de lavouras anuais. Isso mostra o forte tamponamento desse tipo de solo,

contrapondo-se em alterar as condições iniciais de acidez e de disponibilidade de nutrientes, e fazendo com que a construção da fertilidade tenha que ser executada e ajustada progressivamente ao longo de alguns anos de manejo da área. Embora, considerando os valores de referência para pastagens de média exigência (Tabela 4), como a braquiária Marandu, elemento que é o foco principal do sistema ILPF na URT Lagoa dos Currais, nota-se o atingimento de um “status” de fertilidade muito satisfatório nos Níveis 3 e 4.

Uma vez superado o estágio inicial de excessiva limitação nutricional própria de um solo argiloso de cerrado recém-aberto ao uso agrícola, os avanços obtidos com novas aplicações de corretivos e fertilizantes vão se tornando mais sólidos (ALVARENGA et al., 2010). A maioria dos atributos químicos desejáveis tende a ser favorecida pelo efeito residual cumulativo das práticas de manejo da fertilidade ao longo do tempo (SOUSA e LOBATO, 2004; RESENDE et al., 2016). Nesse sentido, as melhorias sutis e menos estáveis observadas nos Níveis 1 e 2 (Tabelas 7 e 8) mostram que os investimentos feitos nestes piquetes possivelmente foram falhos para superar à forte limitação inicial. Esse resultado mostra uma situação desvantajosa e muito frequente, relacionada à decisão de muitos pecuaristas de dissolver o fornecimento de insumos, aplicando baixas dosagens para cobrir uma maior extensão de área.

A condição favorável atingida com os aportes maiores de nutrientes nos Níveis 3 e 4 (Tabelas 7 e 8) deverá permanecer por mais tempo, resultando em estabilidade produtiva da pastagem por vários anos (MARTHA JUNIOR et al., 2007). É importante destacar que, quando se consegue construir a fertilidade no perfil de maneira correta, o fenômeno de tamponamento, mais intenso quanto mais argiloso for o solo, passa a agir no sentido de conservar a duração dos benefícios às plantas (RESENDE et al, 2020).

Os resultados da análise de componentes principais - PCA (Figuras 9 e 10) mostraram que apenas os dois primeiros componentes principais foram retidos para análise devido a sua maior explicação da variabilidade geral no conjunto de dados. As variáveis com maior percentual de explicação/importância para cada componente na estabilidade dos agregados foram: matéria orgânica, profundidade e nível tecnológico. Nesse estudo, essas variáveis são consideradas as mais explicativas dentre o conjunto de dados e que efetivamente descrevem o comportamento frente as mudanças de gestão da terra.

Os dois primeiros componentes retidos na profundidade 1 explicam cerca de 93,92% da variabilidade total no conjunto de dados (Figura 1). Ao analisar os diferentes níveis tecnológicos de manejo do solo na camada de 0-10 cm, observa-se uma maior heterogeneidade na distribuição espacial dos dados, porém, com tendência de aproximação espacial no biplot da peneira de 8-2 mm. O Nível de manejo que mais se aproxima do cerrado nativo é o nível 3 seguido do nível 4, portanto, mostrando ser esse sistema que possui maior proximidade em termos de variância explicativa global das variáveis analisadas na análise de componentes principais.

Profundidade 1:

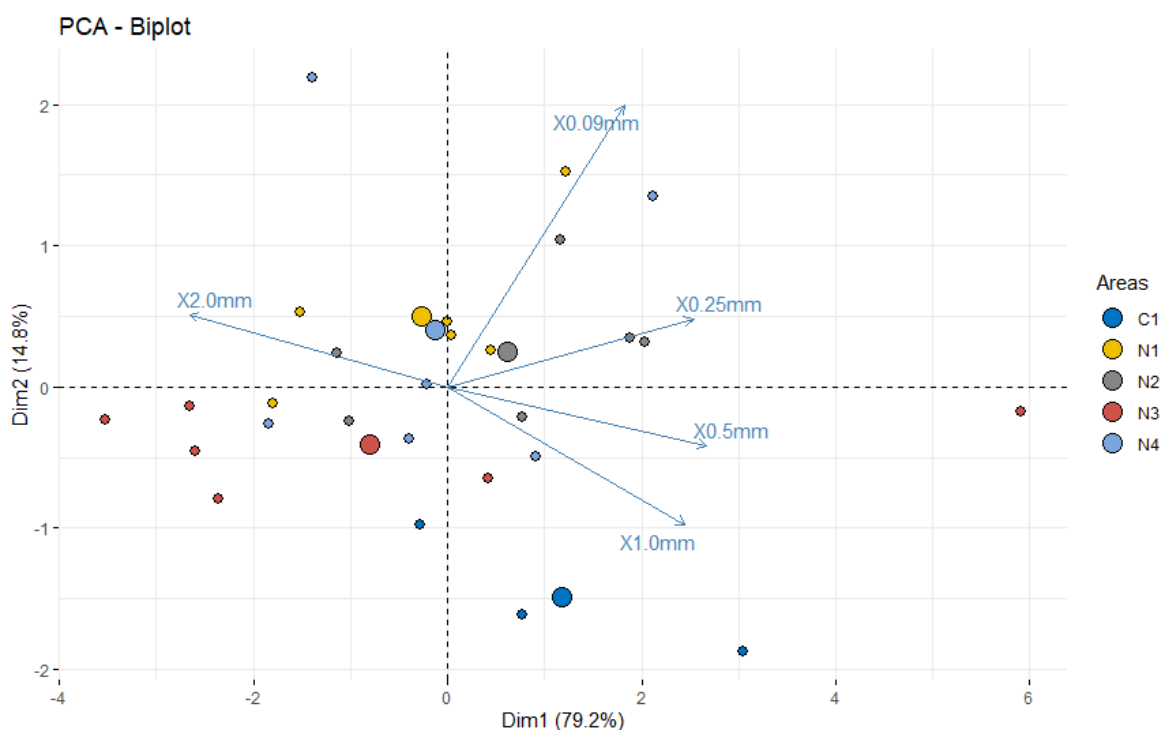


Figura 9 - Análise componentes principais.

Os dois primeiros componentes na profundidade 2 explicam cerca de 81,6% (Dimensão 1) da variabilidade total no conjunto de dados (Figura 2). Ao considerar as variáveis explicativas retidas em cada componente do PCA na camada de 0-20 cm, os resultados indicam que os N3 e N4 tendem a promover aumento da matéria orgânica em relação ao CN,

indicando melhor qualidade física (através da estabilidade e dos índices de agregação) do solo e condições favoráveis para o crescimento vegetal. A matéria orgânica do solo é altamente sensível a mudanças através do manejo e é amplamente utilizada como indicador da qualidade do solo (THOMAZINI et al., 2015) comportamento que pode ser também observado no presente trabalho.

Profundidade 2:

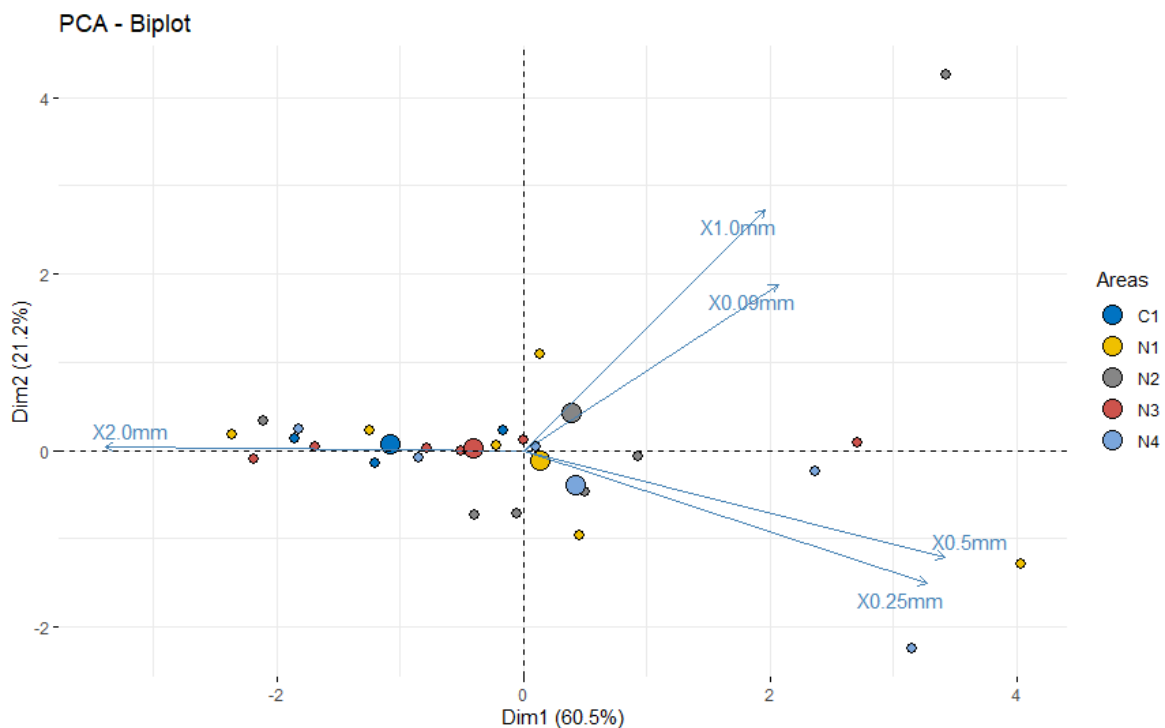


Figura 10 - Análise componentes principais.

4 CONCLUSÕES

A utilização de sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta na recuperação de áreas degradadas demonstrou resultados positivos nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, assim como no teor de matéria orgânica, que propiciam condições mais favoráveis ao desenvolvimento vegetal. Práticas de manejo dentro do sistema agrossilvipastoril promovem aumento de biomassa e raízes, o que provavelmente ocasionou

um acréscimo mais eficiente do carbono indicado pelo aumento dos valores de matéria orgânica e agregação no sistema. O manejo apresentado nos Níveis 3 e 4 se aproximou mais da área de referência (Cerrado Nativo), mostrando maior eficácia na agregação do solo e mudanças na fertilidade do solo. Assim, o Nível 3 é o mais indicado dentro do período de avaliação desse estudo, sinalizando ser mais eficiente e econômico que o Nível 4.

Considerando os cenários futuros de mudanças climáticas, a implementação correta de níveis tecnológicos em sistemas de manejo visando incrementar a fertilidade do solo e o manejo eficiente das áreas é crucial, o que contribuem para a sustentabilidade e eficiência em sistema de Integração Lavoura Pecuária Floresta no Cerrado.

Devido ao grande poder tamponante do solo da área de estudo, possivelmente as dosagens de fertilizantes e calcários aplicadas inicialmente ainda são insuficientes para que se atinja os níveis desejados dentro do que seria considerado o ideal em cada nível tecnológico. Assim, conclui-se que estudos futuros podem considerar aplicar dosagens maiores que as utilizadas nos primeiros anos de implantação da área nesse trabalho inicial.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento as instituições de pesquisa e fomento que financiaram o estudo com auxílio à pesquisa e à bolsa de estudo.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Embrapa Milho e Sorgo, Fazenda Lagoa dos Currais e das instituições de fomento Capes, CNPq e Fapemig. Além do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal de São João del Rei – Campus Sete Lagoas.

Cabe aqui agradecer especialmente aos pesquisadores envolvidos no experimento Dr. Ivanildo Evódio Marriel, Dr. Álvaro Vilela de Resende e seus colaboradores da EMBRAPA Milho e Sorgo, pelo apoio e dados cedidos do experimento em questão.

5 REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, R. C.; SILVA, V. P. DA; GONTIJO NETO, M. M.; VIANA, M. C. M.; VILELA, L. **Sistema Integração Lavoura-Pecuária-Floresta: Condicionamento do solo e intensificação da produção de lavouras.** Informe Agropecuário, v.31, p.59-67, 2010.
- ALVES, E; SOUZA, G.S.; ROCHA, D. P. **Lucratividade na agricultura.** Revista de Política Agrícola, Brasília, DF, v. 21, n. 2, p. 45-63, 2012. Disponível em: <http://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/96/70>.
- ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 31, p. 1099-1108, set./out. 2007.
- BALBINO, L. C.; BARCELLOS, A. de O.; STONE, L. F. (Ed.). Marco referencial: integração-lavoura-pecuária-floresta. Brasília, DF: Embrapa, 2011. 130 p. il. color.
- BENGOUGH, A.G., MCKENZIE, B.M., HALLETT, P.D., VALENTINE, T.A., 2011. **Root elongation, water stress, and mechanical impedance: A review of limiting stresses and beneficial root tip traits.** J. Exp. Bot. 62, 59–68. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq350>
- BRANCO, R. N. C.; POÇA, R. R.; GOMES, R. C. C.; CORRÊA, A. C.; OLIVEIRA, A. A., **Sistema fuzzy para tomada de decisão acerca da qualidade do solo na Amazônia Brasileira.** Brazilian Journal of Development, Curitiba, v.7, n.8, p.86269-86281 aug.2021.
- CAIXETA, S. P.; **Estabilidade de Agregados**, 2019.
- CAMPOS, B. C.; REINERT, D. J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. **Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 19, p. 121-126, 1995.
- CAMPOS-HERRERA, R., GÓMEZ -ROS, J.M., ESCUER, M., CUADRA, L., BARRIOS, L., GUTIÉRREZ, C., 2008. **Diversity, occurrence, and life characteristics of natural entomopathogenic nematode populations from La Rioja (Northern Spain) under different agricultural management and their relationships with soil factors.** Soil Biol. Biochem. 40, 1474–1484. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.01.002>
- CALONEGO, J.C., RAPHAEL, J.P.A., RIGON, J.P.G., OLIVEIRA NETO, L. DE, ROSOLEM, C.A., 2017. **5 Soil compaction management and soybean yields with cover crops under no-till and occasional chiseling.** Eur. J. Agron. 85, 31–37. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.02.001>
- CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. **Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo Distrófico, em**

função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 22, p. 527-538, 1998.

CASTRO FILHO, C. et al. **Aggregate stability under different soil management systems in a red latosol in the state of Parana, Brazil.** Soil and Tillage Research, v. 65, n. 1, p. 45-51, 2002.

CECAGNO, D., DE ANDRADE COSTA, S.E.V.G., ANGHINOMI, I., KUNRATH, T.R., MARTINS, A.P., REICHERT, J.M., GUBIANI, P.I., BALERINI, F., FINK, J.R., DE FACCI CARVALHO, P.C., 2016. **Least limiting water range and soybean yield in a long-term, no-till, integrated crop-livestock system under different grazing intensities.** Soil Tillage Res. 156, 54–62. <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.10.005>

COUTINHO, F. S.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; JUNIOR, D. J. R., & TORRES, J. L. R. **Estabilidade de agregados e distribuição do carbono em Latossolo sob sistema plantio direto em Uberaba, Minas Gerais.** Comunicata Scientiae, v. 1, p. 100-105, 2010.

EIYTI K.; RAMOS M. L. G.; VIEIRA D. F. A.; MEIRA A. D.; MOURÃO V. C., et al (2010) Biosci. J., **Propriedades físicas e teor de carbono orgânico de um latossolo vermelho-amarelo do cerrado, sob diferentes coberturas vegetais.** Uberlândia, v. 26, n. 5, p. 732-738, Sept/Oct. 2010

FRANCO, H.C.J.; VITTI, A.C.; FARONI, C.E.; CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O. **Estoque de nutrientes em resíduos culturais incorporados ao solo na reforma do canavial.** STAB-Açúcar, Álcool e Subprodutos, v. 25, p. 32-36, 2007.

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

GALDOS, M.V.; CERRI, C.C.; CERRI, C.E.P. **Soil carbon stocks under burned and unburned sugarcane in Brazil.** Geoderma, v. 153, 347–352, 2009.

GUO, L.B., WANG, M., GIFFORD, R.M., 2007. **The change of soil carbon stocks and fine root dynamics after land use change from a native pasture to a pine plantation.** Plant Soil 299, 251–262.

JACKSON, J.E. **Principal components and factor analysis: Part II - additional topics related to principal components.** Journal of Quality Technology, v.13, n.1, jan. 1980.
JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis.** 3. ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1992.

KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C. **Aggregate stability and size distribution.** In: KLUTE, A. (Ed.). Methods of soil analysis. Madison, WI, 1986. p. 425-442. Part I.

LANA, Â.M.Q.; LANA, R.M.Q.; LEMES, E.M.; REIS, G.L.; MOREIRA, G.H.F.A. **Influence of native or exotic trees on soil fertility in decades of silvopastoral system at the Brazilian savannah biome.** *Agroforestry systems*, v. 92, p.415-424, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10457-016-9998-8>.

LEPSCH, I. F., **19 Lições de Pedologia**, 2.ed, 2021.

LOPES, A.S.; GUILHERME L.R.G. **A career perspective on soil management in the Cerrado Region of Brazil.** *Advances in Agronomy*, v.137, p.1-72, 2016.

MARCHÃO, R. L.; BALBINO, L. C.; SILVA, E. M.; SANTOS JÚNIOR, J. D. G.; SÁ, M. A. C.; VILELA, L.; BECQUER, T. **Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado.** *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 42, n. 6, p. 873-882, 2007.

MARTHA JÚNIOR, G.B.; VILELA, L.; SOUSA, D.M.G. Adubação nitrogenada. In: MARTHA JÚNIOR, G.B.; VILELA, L.; SOUSA, D.M.G. (Ed.). **Cerrado: uso eficiente de corretivos e fertilizantes em pastagens.** Planaltina: Embrapa Cerrados, 2007. p.117-144.

MORRISON, D.F. **Multivariate statistical methods.** 2. Ed., New York: Mc Graw Hill, 1976.

MOTA, J. C. A.; FREIRE, A. G., & JÚNIOR, A. **Qualidade física de um cambissolo sob sistemas de manejo.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 37, p. 1196-1206, 2013.

NETTO, I. T. P.; KATO, E.; GOEDERT, W. J. **Atributos físicos e químicos de um latossolo vermelho-amarelo sob pastagens com diferentes históricos de uso.** *Rev. Bras. Ciênc. Solo* [online]. 2009, vol.33, n.5, pp.1441-1448. ISSN 1806-9657. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000500034>.

OADES, J.M. **Mucilages at root surface.** *Journal of Soil Science*, London, v. 29, p. 1-16, mar. 1978.

OLIBONE, D., ENCIDE-OLIBONE, A.P., ROSOLEM, C.A., 2010. **Least limiting water range and crop yields as affected by crop rotations and tillage.** *Soil Use Manag.* 26, 485–493. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2010.00301.x>

OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; RESCK, D. V. S.; CURI, N. **Caracterização química e físico-hídrica de um latossolo vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 28, p. 327-336, mar./abr. 2004.

OLIVEIRA, M.W.; BARBOSA, M.H.P.; MENDES, L.C.; DAMASCENO, C.M. **Matéria seca e nutrientes na palhada de dez variedades de cana-de-açúcar.** *STAB-Açúcar, Álcool e Subprodutos*, v. 21, p. 6-7, 2002.

OLIVEIRA, P. P. A.; PEZZOPANE, J. R. M.; BERNARDI, A. C. de C.; GARCIA, A. R.; BERNDT, A.; PEDROSO, A. de F.; LELIS, A. L. J.; MEDEIROS, S. R. de. **Potencial de**

produção de carne carbono neutro por bovinos machos da raça Nelore em sistema silvipastoril com capim-Piatã e eucalipto: Embrapa Pecuária Sudeste - São Carlos, SP. 52 p., 2022.

PIGNATARO, I. T.; WENCESLAU, N. E. K.; GOEDERT, J. **Atributos físicos e químicos de um latossolo vermelho-amarelo sob pastagens com diferentes históricos de uso. Manejo e conservação do solo e da água** • Rev. Bras. Ciênc. Solo 33 (5) • Out 2009 <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000500034>

REICHARDT, R., TIMM, L.C., 2004. **Solo Planta Atmosfera: conceitos, processos e aplicações, Solo Planta Atmosfera: conceitos, processos e aplicações.** <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

REICHERT, J.M., ALBUQUERQUE, J.A., GUBIANI, P.I., KAISER, D.R., MINELLA, J.P.G., REINERT, D.J., 2011. **Hidrologia do solo, disponibilidade de água às plantas e zoneamento agroclimático.** Tópicos em ciência do solo 1–54.

RESENDE, A.V.; FONTOURA, S.M.V.; BORGHI, E.; SANTOS, F.C.; KAPPES, C.; MOREIRA, S.G.; OLIVEIRA JUNIOR, A.; BORIN, A.L.D.C. **Solos de fertilidade construída: características, funcionamento e manejo. Informações Agronômicas**, n.156, p.1-17, 2016.

RESENDE, A. V.; NETO, M. M. G.; BORGHI, E.; SIMÃO, E. P.; GIEHL, J.; ABREU, S. C.; HURTADO, S. M. C.; CAMPANHA, M. M.; COSTA, T. C. C.; MARRIEL, I. E.; VASCONCELOS, J. H.; SANTANA, D. P.; ALVARENGA, R. C.; VIANA, J. H. M., **Intensificação Agropecuária no Cerrado: construção da fertilidade do solo como base para aumento do potencial produtivo e convivência com a seca – Embrapa Milho e Sorgo**, 2020.

ROZANE, D. E.; CENTURION, J. F.; ROMUALDO, L. M.; TANIGUCHI, C. A. K.; TRABUCO, M., & ALVES, A. U. **Estoque de carbono e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho Distrófico, sob diferentes manejos.** Bioscience Journal, v. 26, p. 24-32, 2010.

SALTON, J. C. **Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em mato grosso do sul.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, p. 11-21, 2008.

SANTI, A.; DE BONA, F. D.; DALMAGO, G. A. **Índice de qualidade estrutural do solo em sistema plantio direto conduzido sob longa duração em Passo Fundo, RS.** In: Embrapa Trigo-Resumo em anais de congresso (ALICE). In: WORKSHOP DA REDE DE PESQUISA SOLO VIVO, 2018, Curitiba. Indicadores de qualidade da gestão de áreas com sistema plantio direto: palestras e resumos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2019. E-book. (Embrapa Solos. Documentos, 212). p. 136-143., 2019.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. **Ação do sistema radicular de planta na formação e estabilização de agregados do solo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 21, n. 1, p. 113-117, jan./mar. 1997.

SILVA, J.E. & RESCK, D.V.S. Matéria orgânica do solo. In: VARGAS, M.A.T. & HUNGRIA, M. **Biologia dos solos do cerrados.** Planaltina, Embrapa, 1997. p.465-524.

SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S.; DENEFF, K. **A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics.** Soil and Tillage Research, v.79, p. 7-31, 2004.

SOLLY, E., SCHONING, I., BOCH, S., MULLER, J., SOCHER, S.A., TRUMBORE, S.E., SCHRUMPF, M., 2013. **Mean age of carbon in fine roots from temperate forests and grasslands with different management.** Biogeosciences 10, 4833–4843.

SORRENTINO, M.; MORAES, F. C.; SILVA, L. F.; RAYMUNDO, M. H. A.; PORTUGAL, S.; CAPELLO, A. P. **Alfabetização Agroecológica Ambientalista: interpretando e transformando o socioambiente local e global. In: Como construir políticas públicas de educação ambiental para sociedades sustentáveis? São Carlos (SP): Diagrama Editorial, p. 172 -191, 2015.**

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação.** 2.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416p.

SOUZA, D.M.G.; MIRANDA, L.N.; OLIVEIRA, S.A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo.** Viçosa, MG, Soc. Bras. Ci. Solo, 2007. 991p.

SOUZA, R.A.; TELLES, T.S.; MACHADO, W.; HUNGRIA, M.; TAVARES FILHO, J.; GUIMARÃES, M.F. **Effects of sugarcane harvesting with burning on the chemical and microbiological properties of the soil Agriculture,** Ecosystems and Environment, v. 155, p. 1– 6, 2012.

TAVARES FILHO, J.; TESSIER, D. **Effects of different management systems on porosity of oxisols** in Paraná, Brazil. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.34, p.899-906, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000300031>

THOMAZINI, A.; MENDONÇA, E.S., CARDOSO, I.M.; GARBIN, M.L.; WENDLING, B.; VINHAL-FREITAS, I. C.; DE OLIVEIRA, R. C.; BABATA, M. M., & BORGES, E. N. **Densidade, agregação e porosidade do solo em áreas de conversão do cerrado em floresta de pinus, pastagem e plantio direto.** Bioscience Journal, v. 28, p. 256-265, 2012.

WENDLING, B.; VINHAL-FREITAS, I. C.; DE OLIVEIRA, R. C.; BABATA, M. M., & BORGES, E. N. **Densidade, agregação e porosidade do solo em áreas de conversão do cerrado em floresta de pinus, pastagem e plantio direto.** Bioscience Journal, v. 28, p. 256-265, 2012.

URQUIAGA, S., BODDEY, R. M., OLIVEIRA, O. D., LIMA, E., & GUIMARÃES, D. H. **A importância de não queimar a palha na cultura de cana-de-açúcar.** EMBRAPA-CNPBS, 1991.

VAN BAVEL, C. H. M. **Mean weight diameter of soil aggregates as a statistical index of aggregation.** Soil Science Society of America Proceedings, Madison, v. 14, n. 1, p. 20-23, 1949.

VICENTE L. C.; RODRIGUES E.F. G.; RODRIGUES A. C. G.; MARCIANO R. C., **Organic carbon within soil aggregates under forestry systems and pasture in a southeast region of Brazil.** Received 26 February 2018; Received in revised form 17 June 2019; Accepted 21 June 2019. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104139>