

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

Natália dos Santos Jacobi de Paulo

Sistemas integrados de produção agrícola e sua influência no teor de água do solo

Uberlândia  
2024

NATÁLIA DOS SANTOS JACOBI DE PAULO

Sistemas integrados de produção agrícola e sua influência no teor de água do solo

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Beno Wendling

Uberlândia

2024



## ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Agronomia				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico, 020/2024, PPGAGRO				
Data:	Quatro de dezembro de dois mil e vinte e quatro	Hora de início:	14:00	Hora de encerramento:	16:55
Matrícula do Discente:	12112AGR014				
Nome do Discente:	Natália dos Santos Jacobi de Paulo				
Título do Trabalho:	Sistemas integrados de produção agrícola e sua influência no teor de água do solo				
Área de concentração:	Produção Vegetal				
Linha de pesquisa:	Uso e Recuperação de Solos e Resíduos na Agricultura				

Reuniu-se por videoconferência, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, assim composta: Professores Doutores: Angélica Araújo Queiroz - IFTM; Luis Augusto da Silva Domingues - IFTM; Fernando Oliveira Franco - EPAMIG; Beno Wendling - UFU orientador da candidata.

Iniciando os trabalhos, o presidente da mesa Dr. Beno Wendling, apresentou a Comissão Examinadora e a candidata, agradeceu a presença do público, e concedeu à discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação da discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos examinadores, que passaram a arguir a candidata. Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando ao candidato:

Aprovado.

Essa dissertação possui mérito para ser indicada como destaque do Programa? ( x )  
SIM NÃO ( )

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Beno Wendling, Professor(a) do Magistério Superior**, em 04/12/2024, às 16:55, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Luis Augusto da Silva Domingues, Usuário Externo**, em 05/12/2024, às 16:35, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fernando Oliveira Franco, Usuário Externo**, em 05/12/2024, às 17:50, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Angelica Araujo Queiroz, Usuário Externo**, em 06/12/2024, às 10:24, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://www.sei.ufu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **5915412** e o código CRC **39C882FF**.

**Referência:** Processo nº 23117.081835/2024-26

SEI nº 5915412

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

---

P331s  
2024 Paulo, Natália dos Santos Jacobi de, 1996-  
Sistemas integrados de produção agrícola e sua influência no teor de  
água do solo [recurso eletrônico] / Natália dos Santos Jacobi de Paulo. -  
2024.

Orientador: Beno Wendling.  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,  
Programa de Pós-graduação em Agronomia.  
Modo de acesso: Internet.  
Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2025.5035>  
Inclui bibliografia.

1. Agronomia. I. Wendling, Beno, 1972-, (Orient.). II. Universidade  
Federal de Uberlândia. Programa de Pós-graduação em Agronomia. III.  
Título.

---

CDU: 631

André Carlos Francisco  
Bibliotecário-Documentalista - CRB-6/3408

*Dedico este trabalho ao meu marido, aos meus  
pais e a toda minha família, pelo estímulo,  
carinho e compreensão.*

## **AGRADECIMENTOS**

Esta pesquisa é desenvolvida no âmbito do Projeto Rural Sustentável - Cerrado, fruto da parceria entre o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), o Governo do Reino Unido, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), o Instituto Brasileiro de Desenvolvimento e Sustentabilidade (IABS) e a Rede ILPF e Embrapa.

A FAPEMIG por conceder o recurso para a realização do projeto APQ-02750-21.

Finep, Fapemig, INCT-CA

“Tua palavra é lâmpada para os meus  
pés, e luz para o meu caminho.”

(Salmos 119, 105.)

## RESUMO

A Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura relata que, em 2022, aproximadamente 735 milhões de pessoas sofreram com a fome, conforme destacado no Relatório da Fome e da Segurança Alimentar e Nutricional no Mundo. O aumento populacional e a demanda crescente por alimentos levam muitos agricultores a adotar práticas agrícolas insustentáveis, nesse sentido, é possível afirmar que os sistemas integrados podem ser uma ferramenta valiosa frente aos desafios ambientais. O objetivo do presente estudo foi avaliar sistemas de produção agrícola (Lavoura, Pasto não manejado, Pasto reformado, Lavoura-pecuária, Lavoura-Pecuária-Floresta) com relação à eficiência na retenção de umidade do solo em profundidade e também avaliar esses sistemas ao final do primeiro ciclo quanto a alguns parâmetros de produtividade. O delineamento experimental foi em blocos casualizados sendo 3 blocos e os tratamentos: L (lavoura), P (pastagem), F (floresta), ILP (lavoura-pecuária), ILPF (lavoura-pecuária-floresta) e PNM (pastagem não manejada) nas profundidades 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60 e 60-100 cm. Foram analisados a umidade do solo nas épocas de Outono, Inverno e Primavera, com medições diárias, bem como ao final do primeiro ano de implantação do experimento foram feitas as análises de produtividade, biomassa vegetal, massa seca e fresca do milho e Marandu, capacidade de suporte, produtividade de silagem e ganho médio diário dos animais. Os sistemas de produção apresentaram retenção de umidade distintas até 100 cm para as épocas mais secas (Outono e Inverno) e apenas nas camadas mais superficiais do solo na época mais úmida (Primavera). O período de maior retenção de umidade foi o da estação da Primavera em razão da maior oferta hídrica. A ausência de diferenças para as outras variáveis avaliadas pode ser explicada por este ser o primeiro ano de implantação dos sistemas, sendo necessário um acompanhamento por um maior tempo para que seja possível uma visualização mais assertiva das diferenças.

**Palavras-chave:** Milho, Marandu, Biomassa vegetal, retenção de umidade

## ABSTRACT

The Food and Agriculture Organization of the United Nations reports that in 2022, approximately 735 million people suffered from hunger, as highlighted in the World Hunger and Food Security Report. Population growth and growing demand for food lead many farmers to adopt unsustainable agricultural practices. In this sense, it is possible to affirm that integrated systems can be a valuable tool in the face of environmental challenges. The objective of the present study was to differentiate agricultural production systems (Crop, Degraded pasture, Reformed pasture, Crop-livestock, Crop-Livestock-Forest) in relation to the efficiency in retaining soil moisture in depth and also evaluate these systems at the end of the first cycle regarding some productivity parameters. The experimental design was in randomized blocks with 3 blocks and treatments: L (crop), P (pasture), F (forest), ILP (crop-livestock), ILPF (crop-livestock-forest) and UP (unmanaged pasture) at depths 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60 and 60-100 cm. Soil moisture was analyzed in the autumn, winter and spring seasons, with daily measurements, as well as at the end of the first year of implementation of the experiment, analyzes of productivity, plant biomass, dry and fresh mass of corn and Marandu, carrying capacity, silage productivity and average daily gain of animals. The production systems showed distinct moisture retention up to 100 cm for the driest seasons (Autumn and Winter) and only in the more superficial soil layers during the wettest season (Spring). The period of highest moisture retention was during Spring due to the greater water availability. The absence of differences in the other variables evaluated can be explained by this being the first year of implementation of the systems, and it will be necessary to monitor them for a longer period to allow a more accurate assessment of the differences.

**Keywords:** Corn, Marandu, Vegetable biomass, moisture retention

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Localização dos tubos de acesso para realização das leituras de umidade (%), coordenadas geográficas .....	30
Tabela 2 -	Caracterização química e física do solo, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, nos sistemas Floresta, Lavoura, Pasto reformado, Lavoura-pecuária, Lavoura-Pecuária-Floresta e Pasto não manejado	33
Tabela 3 -	Retenção de umidade no solo, nos períodos de Outono, Inverno e Primavera, nas profundidades de 10, 20, 30, 40, 60 e 100 cm pelos sistemas Floresta (F), Lavoura (L), Lavoura-Pecuária (ILP), Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), Pastagem reformada (P) e Pastagem não manejada (PNM) após o primeiro ano de instalação do experimento .....	35
Tabela 4 -	Estimativa de produtividade de matéria fresca (MF) e seca (MS) e produção de espiga ( $t\ ha^{-1}$ ) fresca (EF) e seca (ES) pelos sistemas Lavoura, Lavoura-Pecuária e Lavoura-Pecuária-floresta após primeiro ano de instalação do experimento .....	39
Tabela 5 -	Estimativa de produtividade ( $t\ ha^{-1}$ ) de matéria fresca (MF) e seca (MS) fresca (EF) e capacidade de suporte (UA/ha/período pastejado) do capim Marandu, pelos sistemas Lavoura-Pecuária, Lavoura-Pecuária-floresta, Pastagem reformada e Pastagem não manejada após primeiro ano de instalação do experimento e 62 dias de pastejo .....	40
Tabela 6 -	Estimativa de produtividade ( $t\ ha^{-1}$ ) de Silagem fresca (SF) e seca (SS), pelos sistemas Lavoura, Lavoura-Pecuária e Pastagem não manejada após primeiro ano de instalação do experimento .....	41
Tabela 7 -	Estimativa de produtividade ( $t\ ha^{-1}$ ) de Biomassa vegetal fresca (BF) e seca (BS), pelos sistemas Floresta, Lavoura, Lavoura-Pecuária, Lavoura-Pecuária-Floresta, Pastagem reformada e Pastagem não manejada após o primeiro ano de instalação do experimento .....	43
Tabela 8 -	Ganho médio diário (GMD) dos animais (kg) após 62 dias de pastejo nos sistemas Lavoura-Pecuária, Lavoura-Pecuária-Floresta, Pastagem reformada e Pastagem não manejada.....	44

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
UFU	Universidade Federal de Uberlândia

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>13</b>
2.1 O cultivo do Milho ( <i>Zea mays</i> ).....	13
2.2 Cultura da Braquiária.....	14
2.3 Sistemas de produção .....	15
2.3.1 Monocultivo.....	15
2.3.2 Sistemas de Produção Agrícola Integrados .....	16
2.3.3 Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) ..	20
2.4 Impacto das práticas agrícolas na disponibilidade de água no solo.....	21
2.5 Os sistemas integrados de produção e o consumo de água pelos componentes agrícolas, pecuários e florestais.....	22
2.6 Retenção de umidade do solo e questão climática, textura do solo e sua influência na retenção de umidade do solo .....	23
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>26</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>32</b>
<b>5. CONCLUSÃO.....</b>	<b>47</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>48</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Os dados globais mostram que o número de pessoas enfrentando a escassez de alimentos, resultando em fome e desnutrição, continua a crescer, especialmente nos países em desenvolvimento (Shen et al., 2018). A Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, 2023) relata que, em 2022, aproximadamente 735 milhões de pessoas sofreram com a fome, conforme destacado no Relatório da Fome e da Segurança Alimentar e Nutricional no Mundo. Segundo Khwidzhili e Worth (2020), o aumento populacional e a demanda crescente por alimentos levam muitos agricultores a adotar práticas agrícolas insustentáveis.

Conforme Souza (2020), a sustentabilidade ambiental envolve a preservação do meio ambiente, utilizando os recursos naturais (renováveis e não-renováveis) de maneira racional e dentro dos limites da natureza. Isso permite que os ecossistemas se regenerem após a intervenção humana, mantendo seu equilíbrio. Contudo, para promover o desenvolvimento ambiental, é fundamental que a extração de recursos seja realizada de forma consciente e que a degradação ambiental seja reduzida. É necessário minimizar os impactos causados pela emissão de gases poluentes na atmosfera, a poluição da água e do solo, a geração de resíduos, entre outros fatores.

A monocultura é o método de produção vegetal e animal mais comum no Brasil, caracterizado pelo uso intensivo de recursos naturais, produtos químicos e energias não renováveis. No entanto, devido à iminente escassez de recursos naturais, é necessário reavaliar os sistemas de produção integrada, como a integração lavoura-pecuária (ILP) e integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), que apesar de serem opções promissoras de cultivo, podem exigir investimentos para a sua implementação e resistência por conta dos agricultores (Lima, 2023; Souza, 2023). A adoção destes sistemas pode exigir incentivos financeiros e um maior conhecimento sobre os seus benefícios, sendo que já existe um aumento significativo de estudos que propõem metodologias para medir o impacto ambiental de diferentes configurações de sistemas de produção, visando reduzir o impacto nos ecossistemas (Han et al., 2015).

Os modelos de produção integrados, a exemplo os sistemas agroflorestais ou agrossilvipastoris, possibilitam a obtenção de produtos por meio da manutenção do ciclo produtivo sustentável através de pesquisas que fomentem a sustentabilidade da agricultura e fortaleça a agropecuária (Chaves et al., 2021), a intensificação sustentável do uso do solo e redução da pressão sobre os ecossistemas naturais (Hunter et al., 2017).

Sistemas de produção como ILP e ILPF ganham destaque por serem sistemas de produção conservacionistas e sustentáveis, contribuindo com a redução de gases de efeito estufa e gerando menos impacto ambiental, melhoria dos atributos físicos do solo por meio da diversificação de culturas e atividades (agrícola, pecuária e florestal) que acarreta menor risco econômico, interrupção de ciclo de patógenos e aumento de produtividade (Barbosa et al., 2017).

Estudos diversos mostram que os sistemas integrados trazem benefícios para as propriedades do solo (Chaves et al., 2021), retendo a umidade, reduzindo o uso de fertilizantes (Han et al., 2015) e melhorando a ciclagem de nutrientes (Françoso e Belderrain, 2022). Assim, é possível afirmar que esses sistemas podem ser uma ferramenta valiosa diante dos desafios ambientais (Barbosa et al., 2017). Segundo Chaves et al. (2021), o futuro da alimentação do planeta está, agora, em tecnologias de intensificação sustentável que promovam ganhos de eficiência para se produzir mais alimentos sem que se use mais área, água ou outros insumos.

Objetivou-se com este estudo avaliar a retenção de umidade do solo sobre diferentes sistemas de produção agrícola (Lavoura, Pasto não manejado, Pasto reformado, Integração Lavoura-Pecuária e Integração Lavoura-Pecuária-Floresta) e averiguar também possíveis diferenças sobre a produtividade dos sistemas ao final do primeiro ciclo.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 O cultivo do Milho (*Zea mays*)

O último levantamento da safra de grãos da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab) para a safra 2023/24, revela que a produção de milho no Brasil continua em ascensão, consolidando o país como um dos maiores produtores e exportadores mundiais do grão. De acordo com os dados, a safra de milho está estimada em aproximadamente 126 milhões de toneladas, destacando-se tanto na primeira quanto na segunda safra, com a região Centro-Oeste mantendo a liderança na produção nacional. Este aumento na produção é reflexo das boas condições climáticas e do uso de tecnologias avançadas no manejo das lavouras.

A importância econômica do milho é significativa não só para o Brasil, mas também a nível mundial. O milho é um dos principais produtos agrícolas do país, sendo essencial para a balança comercial brasileira devido ao seu papel de destaque nas exportações. Globalmente, o Brasil compete com os Estados Unidos como um dos maiores exportadores de milho, influenciando diretamente os preços internacionais e as dinâmicas do mercado global. O grão é fundamental para a produção de alimentos, rações e biocombustíveis, reforçando sua relevância econômica e estratégica para o desenvolvimento agrícola e energético (Colman et al., 2019).

Morfologicamente, o milho (*Zea mays*) é uma planta robusta, com um sistema radicular profundo e um caule espesso que pode atingir até três metros de altura. Suas folhas são largas e alternadas e a planta é monoica, possuindo flores masculinas e femininas separadas na mesma planta (Colman et al., 2019). A inflorescência masculina, conhecida como pendão e está localizada na parte superior, enquanto a inflorescência feminina, que dará origem às espigas de milho, desenvolve-se nas axilas das folhas. Essa estrutura morfológica permite uma alta eficiência na polinização e produção de grãos (Colman et al., 2019; Leiser et al., 2024).

No Brasil, as lavouras de monocultivo de milho são amplamente utilizadas, especialmente em grandes propriedades agrícolas no Centro-Oeste e Sul do país. Este tipo de cultivo intensivo é favorecido pela alta demanda do mercado interno e externo, mas traz desafios como a depleção do solo e a necessidade constante de insumos químicos para manutenção da produtividade (Leiser et al., 2024). A monocultura do milho pode levar a problemas de sustentabilidade a longo prazo, como a perda de biodiversidade e o aumento da vulnerabilidade a pragas e doenças.

Para mitigar os impactos negativos da monocultura, o Brasil tem investido cada vez mais em sistemas integrados de produção, como os sistemas de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF). Esses sistemas combinam a produção de grãos com a pecuária e a silvicultura, promovendo uma utilização mais sustentável dos recursos naturais. No ILP, o milho é cultivado em rotação ou consórcio com pastagens, permitindo a recuperação do solo e melhorando a eficiência do uso da terra. Já no ILPF, o plantio de árvores junto com as lavouras e pastagens contribui para a sequestro de carbono, a proteção do solo e a biodiversidade, criando um sistema agrícola mais resiliente e sustentável (Leiser et al., 2024). Estas práticas mostram o potencial do Brasil em harmonizar alta produtividade agrícola com sustentabilidade, contribuindo para a segurança alimentar e a conservação ambiental.

## 2.2 Cultura da Braquiária

A braquiária (*Urochloa Brizantha* (Hochst. ex A. Rich)) desempenha um papel fundamental na formação de pastagens no Brasil e em várias outras partes do mundo. Esta gramínea é amplamente utilizada devido à sua capacidade de adaptação a diferentes condições climáticas e de solo, sendo uma das principais espécies forrageiras na pecuária brasileira. Sua importância econômica é enorme, pois sustenta uma grande parte da produção de carne bovina no país, que é um dos maiores exportadores mundiais (Leiser et al., 2024). Além disso, a braquiária contribui para a estabilidade econômica dos produtores rurais, fornecendo pastagem de alta qualidade e resistência.

Morfologicamente, a braquiária é uma planta perene com um sistema radicular profundo e extenso, que permite uma boa absorção de nutrientes e água. Suas folhas são longas e finas, apresentando uma coloração verde intensa (Abdalla et al., 2018). Esta gramínea pode atingir alturas que variam entre 60 cm e 1,5 m, dependendo das condições ambientais. Fisiologicamente, a braquiária é uma planta C4, o que significa que ela tem uma alta eficiência no uso da água e na fixação de carbono, características que a tornam ideal para climas tropicais e subtropicais.

A degradação das pastagens é um problema significativo no Brasil, afetando a produtividade e a sustentabilidade do setor agropecuário. Pastagens degradadas resultam de práticas inadequadas de manejo, superpastejo e falta de reposição de nutrientes no solo. Isso leva à compactação do solo, redução da cobertura vegetal e aumento da erosão (Hebb et al., 2017). A braquiária, com seu sistema radicular vigoroso, pode ser uma solução eficaz para a

recuperação dessas áreas, pois ajuda a melhorar a estrutura do solo e a aumentar a infiltração de água.

Nos sistemas integrados de cultivo, como a Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), a braquiária desempenha um papel crucial. A gramínea é utilizada tanto para a formação de pastagens quanto para a rotação de culturas, contribuindo para a ciclagem de nutrientes e a melhoria da saúde do solo. Esses sistemas ajudam a reduzir a pressão sobre as áreas de cultivo, promovendo um uso mais sustentável da terra. A braquiária, ao ser incorporada nesses sistemas, contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa e para a captura de carbono no solo, aumentando a resiliência das propriedades rurais (Abdalla et al., 2018).

A utilização da braquiária em sistemas integrados também oferece grandes possibilidades de melhoria e recuperação da biodiversidade do solo. A presença desta gramínea favorece a atividade biológica do solo, estimulando a proliferação de microorganismos benéficos. Além disso, o manejo adequado da braquiária em consórcio com outras culturas pode promover a diversificação de espécies vegetais e animais, criando um ambiente mais equilibrado e sustentável. Esses benefícios mostram que a braquiária é, não apenas uma solução econômica, mas também uma ferramenta poderosa para a promoção da sustentabilidade na agricultura e pecuária (Hebb et al., 2017).

## **2.3 Sistemas de produção**

### **2.3.1 Monocultivo**

O monocultivo é uma prática agrícola amplamente utilizada no Brasil e no mundo, caracterizada pelo cultivo contínuo de uma única espécie de planta em uma grande área. No Brasil, essa prática é predominante em culturas como a soja, milho e cana-de-açúcar, especialmente nas regiões Centro-Oeste e Sudeste. Mundialmente, o monocultivo é comum em países com grandes extensões de terras agrícolas, como os Estados Unidos, China e Argentina (Hebb et al., 2017). Embora essa prática possa maximizar a eficiência e a produção a curto prazo, ela também traz diversos desafios ambientais e agronômicos a longo prazo.

A degradação do solo é uma consequência severa do monocultivo, manifestando-se de forma física, química e biológica. Fisicamente, o solo pode sofrer compactação devido ao uso constante de máquinas pesadas e a ausência de cobertura vegetal diversificada (Abdalla et al., 2018). Quimicamente, a contínua extração dos mesmos nutrientes pela mesma cultura leva à

exaustão do solo, exigindo o uso intensivo de fertilizantes para manter a produtividade. Biologicamente, o monocultivo reduz a biodiversidade do solo, afetando a atividade de microorganismos benéficos e tornando o ambiente mais suscetível a pragas e doenças (Gubiane et al., 2018).

A erosão do solo é outra preocupação significativa associada ao monocultivo. Sem a rotação de culturas ou a cobertura do solo durante períodos de entressafra, o solo fica exposto à ação das chuvas e dos ventos, que podem levar à perda de camadas férteis. Esse processo não só diminui a capacidade produtiva da terra, mas também contribui para o assoreamento de corpos d'água e a degradação de ecossistemas aquáticos (Gubiane et al., 2018). A erosão é agravada em terrenos inclinados e em áreas onde práticas conservacionistas não são adotadas.

O sistema de cultivo convencional, que envolve a aração e a gradagem do solo, é comum em áreas de monocultivo. Essas práticas, embora facilitadoras do plantio e do controle de ervas daninhas, podem prejudicar a estrutura do solo. A aração revolve as camadas superiores do solo, expondo-as à erosão e alterando a microbiota natural. A gradagem, por sua vez, pode destruir agregados do solo, reduzir a infiltração de água e aumentar a compactação (Hebb et al., 2017). Esses métodos mecânicos, se usados indiscriminadamente, contribuem para a degradação do solo e a diminuição de sua qualidade a longo prazo.

A transição para sistemas de cultivo mais conservacionistas e sustentáveis é essencial para garantir a saúde do solo e a longevidade da produção agrícola. Práticas como a rotação de culturas, o plantio direto e a integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) podem promover a sustentabilidade agrícola. Esses sistemas ajudam a manter a cobertura do solo, melhorar a biodiversidade e aumentar a resiliência das propriedades rurais às mudanças climáticas e às pragas (Gubiane et al., 2018). Adotar métodos sustentáveis é fundamental não apenas para preservar os recursos naturais, mas também para assegurar a segurança alimentar e a viabilidade econômica da agricultura a longo prazo.

### **2.3.2 Sistemas de Produção Agrícola Integrados**

Sistemas de produção integrada visam otimizar recursos e reduzir impactos ambientais ao combinar diferentes práticas de produção agrícola e pecuária. Segundo Bonetti (2017), os sistemas integrados são projetados para promover uma maior eficiência no uso de recursos naturais, contribuindo para uma produção mais sustentável. A integração de diferentes atividades agrícolas pode resultar em sinergias que beneficiam o ambiente e a produção.

Além disso, esses autores enfatizam a importância de uma abordagem holística para a gestão das propriedades agrícolas. A integração de culturas, pastagens e florestas em um mesmo sistema produtivo pode maximizar a utilização da terra, reduzir a necessidade de insumos externos e melhorar a ciclagem de nutrientes (Bonetti et al., 2017). Isso não apenas melhora a produtividade, mas também promove a sustentabilidade dos sistemas agrícolas.

Os sistemas de produção integrada também são destacados como uma estratégia para mitigar as emissões de gases de efeito estufa. Castro Dias et al. (2020) observam que a integração de culturas e pecuária pode levar a um sequestro significativo de carbono no solo, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas. A diversificação das atividades produtivas e o aumento da cobertura vegetal são fatores chave para esse sequestro de carbono (Hebb et al., 2017).

Além dos benefícios ambientais diretos, os sistemas integrados podem melhorar a resiliência das propriedades agrícolas. Segundo Yang et al. (2022), a diversificação de atividades reduz a vulnerabilidade a pragas, doenças e variabilidades climáticas. Isso se traduz em uma maior estabilidade da produção e menor risco econômico para os agricultores.

Inúmeros são os benefícios ambientais associados aos sistemas integrados. De acordo com Castro Dias et al. (2020), esses sistemas podem reduzir a pegada ecológica através da minimização de resíduos e da otimização do ciclo de nutrientes. A integração entre culturas e pecuária permite um uso mais eficiente dos recursos, como água e fertilizantes, reduzindo o impacto ambiental da produção agrícola.

A promoção da biodiversidade é outro benefício importante dos sistemas integrados. Yang et al. (2022) destacam que a diversificação de culturas e a inclusão de árvores e pastagens contribuem para a criação de habitats diversificados, o que favorece a biodiversidade local. Isso é fundamental para a manutenção de serviços ecossistêmicos, como polinização e controle biológico de pragas.

Além disso, os sistemas integrados podem contribuir para a melhoria da qualidade do solo. Bonetti (2017) observa que a rotação de culturas e a integração de árvores aumentam a matéria orgânica do solo e melhoram sua estrutura. Isso resulta em solos mais férteis e menos propensos à erosão, promovendo uma agricultura mais sustentável a longo prazo.

A redução da contaminação dos recursos hídricos é também um benefício dos sistemas integrados. Castro Dias et al. (2020) apontam que a utilização de sistemas agroflorestais e a integração de pecuária em áreas agrícolas podem reduzir a lixiviação de nutrientes e pesticidas para os corpos d'água. Isso melhora a qualidade da água e reduz os impactos negativos da agricultura intensiva sobre os ecossistemas aquáticos.

Segundo Yang et al. (2022), os sistemas integrados, ao promoverem o sequestro de carbono no solo e na biomassa vegetal, podem desempenhar um papel significativo na redução das concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera. Isso contribui para o cumprimento de metas internacionais de mitigação climática e para a sustentabilidade das atividades agrícolas.

Autores como Lima (2023) destacam questões relacionadas à complexidade de gestão, custos iniciais elevados e resistência a mudanças por parte dos agricultores como alguns dos desafios e até mesmo limitações da implementação desses sistemas. A adoção de práticas integradas exige um conhecimento técnico aprofundado e uma gestão eficiente, o que pode ser um obstáculo para muitos produtores. Um dos principais desafios é a necessidade de formação e capacitação dos agricultores. Segundo Castro Dias et al (2020), muitos agricultores não possuem o conhecimento necessário para implementar e gerenciar sistemas integrados de forma eficaz. Programas de capacitação e assistência técnica são essenciais para superar essa barreira e garantir o sucesso desses sistemas.

Lima (2023) observa que a implementação de sistemas integrados pode exigir investimentos significativos em infraestrutura, como cercas, sistemas de irrigação e plantio de árvores. Esses custos podem ser proibitivos para pequenos agricultores, que muitas vezes têm acesso limitado a crédito e financiamento. Além disso, muitos agricultores estão habituados a práticas tradicionais de monocultura e podem ser relutantes em adotar novos métodos (Souza, 2023).

Existem também desafios relacionados à pesquisa e desenvolvimento onde se destacam a necessidade de mais estudos para entender melhor as interações entre os componentes dos sistemas integrados e para desenvolver tecnologias que facilitem sua implementação (Bonetti, 2017). A pesquisa contínua é importantíssima para aprimorar as práticas existentes e para adaptar os sistemas integrados a diferentes contextos e condições ambientais. Segundo Lima (2023), sem um suporte governamental adequado, a adoção de sistemas integrados pode ser limitada. Políticas que incentivem a sustentabilidade agrícola, como subsídios, créditos acessíveis e programas de extensão rural, são essenciais para promover a adoção em larga escala desses sistemas.

A análise dos impactos econômicos e sociais é essencial para entender a viabilidade de sistemas integrados. Autores como Calicioglu et al. (2019) argumentam que, embora possam existir investimentos iniciais mais altos, os benefícios a longo prazo incluem maior estabilidade econômica para os agricultores e melhoria das condições de trabalho. A diversificação das atividades produtivas pode reduzir a dependência de um único produto e aumentar a resiliência econômica das propriedades. Além disso, os sistemas integrados podem gerar novas fontes de

renda para os agricultores. Castro Dias et al. (2020) destacam que a produção diversificada, como a inclusão de frutas, madeira e produtos animais, pode aumentar a rentabilidade das propriedades. Isso é especialmente importante em regiões onde as condições de mercado são voláteis e os preços dos produtos agrícolas podem variar significativamente.

Yang et al. (2022) observam que a diversificação das atividades agrícolas pode levar a uma distribuição mais equilibrada do trabalho ao longo do ano, reduzindo os períodos de inatividade e melhorando a qualidade de vida dos trabalhadores rurais. Isso também pode atrair mão-de-obra jovem para o campo, combatendo o êxodo rural e promovendo o desenvolvimento local. Os sistemas integrados também têm o potencial de melhorar a segurança alimentar, segundo estudos de Bonetti (2017) a produção diversificada pode aumentar a disponibilidade de alimentos frescos e nutritivos para as comunidades locais. Isso é especialmente relevante em áreas rurais onde o acesso a alimentos de qualidade pode ser limitado.

Segundo Duru, Sarthou e Therond (2022) os avanços em tecnologia e pesquisa são essenciais para melhorar a eficiência desses sistemas, aumentando sua adaptabilidade às mudanças climáticas e melhorando seu desempenho ambiental geral. Tecnologias como a agricultura de precisão, por exemplo, podem otimizar o uso de insumos e reduzir os impactos ambientais. A pesquisa contínua é fundamental para o desenvolvimento de novas práticas e tecnologias, Castro Dias et al. (2020) enfatizam a importância de se realizarem estudos que investiguem as interações entre os componentes dos sistemas integrados e avaliem seu desempenho em diferentes contextos climáticos e geográficos. Isso ajudará a adaptar as práticas a diferentes realidades e a maximizar seus benefícios.

Além disso, a inovação social é um fator chave para o sucesso dos sistemas integrados, a colaboração entre agricultores, pesquisadores e formuladores de políticas é essencial para a criação de soluções inovadoras e para a promoção da adoção dessas práticas em larga escala (Souza, 2023). A participação ativa das comunidades rurais no desenvolvimento e implementação dos sistemas integrados é crucial para sua sustentabilidade a longo prazo, isso aliado a programas de financiamento e subsídios específicos para a pesquisa e desenvolvimento de tecnologias sustentáveis podem acelerar a adoção de sistemas integrados (Bonetti et al., 2017).

### **2.3.3 Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF)**

Os sistemas integrados de cultivo, como a Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), representam uma abordagem inovadora e sustentável para a agricultura moderna, combinando diferentes atividades agrícolas em uma mesma área, promovendo sinergias que aumentam a produtividade e a sustentabilidade das propriedades rurais (Rodrigues et al., 2023). No Brasil, a adoção de ILP e ILPF tem crescido significativamente, impulsionada pelos benefícios ambientais, econômicos e sociais que essas práticas oferecem aos agricultores (Valani, 2024; Laurenti et al., 2024).

A adoção de sistemas integrados como ILP e ILPF traz inúmeros benefícios para a recuperação e melhoria do solo. A diversidade de cultivos e a alternância entre plantio e pecuária ajudam a prevenir a degradação do solo, promovendo a regeneração de áreas anteriormente degradadas (Borges et al., 2019). Além disso, esses sistemas melhoram a cobertura do solo durante todo o ano, reduzindo a erosão e aumentando a infiltração de água. Isso resulta em solos mais saudáveis e produtivos, capazes de sustentar uma agricultura de longo prazo (Valani, 2024; Laurenti et al., 2024).

Esses sistemas integrados também contribuem significativamente para a melhoria das propriedades físicas e químicas do solo e para o aumento da biodiversidade. A rotação de culturas e a inclusão de pastagens diversificadas aumentam a matéria orgânica do solo, melhorando sua estrutura e capacidade de retenção de água. A presença de árvores no sistema ILPF, por exemplo, contribui para o sequestro de carbono e para a ciclagem de nutrientes (Silva et al., 2019). Além disso, a diversidade de plantas e o manejo adequado promovem uma maior atividade biológica no solo, favorecendo a presença de microorganismos benéficos que contribuem para a saúde do ecossistema agrícola (Valani, 2024; Laurenti et al., 2024).

O sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) é um exemplo claro de como a agricultura e a pecuária podem ser combinadas de maneira benéfica. Nesse sistema, culturas agrícolas são plantadas em rotação ou consórcio com pastagens, permitindo o uso eficiente dos recursos naturais. A ILP melhora a qualidade do solo, aumenta a produtividade e reduz a necessidade de insumos químicos (Sekaran et al., 2021). Além disso, a integração da pecuária com a lavoura proporciona uma fonte adicional de renda para os agricultores, aumentando a resiliência econômica das propriedades rurais (Valani, 2024; Laurenti et al., 2024).

A Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) vai além, incorporando também a componente florestal ao sistema (Holthusen et al., 2018). A inclusão de árvores não só

proporciona benefícios ambientais, como o sequestro de carbono e a proteção da biodiversidade, mas também oferece produtos adicionais, como madeira e frutos, diversificando ainda mais a renda do agricultor. O ILPF é especialmente eficaz na promoção de um microclima mais ameno, melhorando as condições para as culturas e os animais e tornando as propriedades mais resilientes às mudanças climáticas (Valani, 2024; Laurenti et al., 2024).

Os sistemas de Integração Lavoura-Pecuária e Integração Lavoura-Pecuária-Floresta representam um avanço importante para a agricultura sustentável. Ao combinar diferentes práticas agrícolas em uma abordagem integrada, esses sistemas promovem a saúde do solo, aumentam a produtividade e proporcionam benefícios econômicos e ambientais (Holthusen et al., 2018). A transição para essas práticas é fundamental para garantir a viabilidade a longo prazo da agricultura, protegendo os recursos naturais e promovendo um futuro mais sustentável e equilibrado para os agricultores e o meio ambiente, por meio da intensificação sustentável (Magalhães et al., 2019).

## **2.4 Impacto das práticas agrícolas na disponibilidade de água no solo**

O uso intensivo da terra para agricultura pode resultar na degradação do solo e na redução da biodiversidade. Práticas como o cultivo intensivo, o uso de agroquímicos e a monocultura podem diminuir a diversidade microbiana e macrofauna no solo. Estudos indicam que a intensificação agrícola, caracterizada pela utilização de insumos químicos e mecanização pesada, tende a reduzir a abundância e a diversidade de organismos do solo, como bactérias, fungos e invertebrados, essenciais para a manutenção da fertilidade e da estrutura do solo (Abdalla et al., 2018). A homogeneização do habitat e a perturbação física do solo afetam negativamente os microhabitats, essenciais para a sobrevivência de muitas espécies de solo.

A monocultura, em particular, pode levar a uma diminuição significativa na diversidade de espécies do solo. Em sistemas de monoculturas, a falta de diversidade vegetal resulta em menos tipos de resíduos orgânicos e uma menor variação na entrada de nutrientes no solo. Isso pode favorecer algumas espécies enquanto prejudica outras, levando a uma diminuição na diversidade funcional dos organismos do solo (Hebb et al., 2017). Além disso, o uso intensivo de pesticidas e herbicidas em monoculturas pode ter efeitos diretos e indiretos sobre a fauna do solo, eliminando organismos benéficos e alterando as interações ecológicas naturais (Brown et al., 2015).

O uso de fertilizantes químicos, embora aumente a produtividade agrícola, também pode ter consequências negativas para a biodiversidade do solo. A aplicação excessiva de nutrientes

pode levar à acidificação do solo, lixiviação de nutrientes e poluição de corpos d'água. Além disso, os fertilizantes podem alterar a composição microbiana do solo, favorecendo algumas espécies de microrganismos enquanto inibem outras, o que pode resultar em um desequilíbrio ecológico. Esse desequilíbrio pode reduzir a eficiência dos ciclos de nutrientes e diminuir a resiliência do solo a perturbações (Hebb et al., 2017, Bustamante et al., 2019).

A compactação do solo devido à mecanização pesada também é um fator crítico que afeta negativamente a biodiversidade do solo. A compactação reduz a porosidade do solo, diminuindo a infiltração de água e o espaço disponível para a vida do solo. Isso pode levar a uma redução na atividade biológica e na diversidade de espécies, uma vez que muitas formas de vida do solo dependem de espaços porosos para se mover e realizar suas funções ecológicas. Estudos têm mostrado que solos compactados apresentam uma menor biomassa microbiana e menor atividade de decomposição (Brown et al., 2015; Calaça, Bustamante, 2022).

Para mitigar esses impactos, é essencial adotar práticas de manejo sustentável que considerem a conservação da biodiversidade do solo. Técnicas como a rotação de culturas, o uso de coberturas vegetais, a redução do uso de insumos químicos e a adoção de práticas agroecológicas podem ajudar a manter e até aumentar a biodiversidade do solo. Essas práticas promovem um ambiente mais diversificado e resiliente, essencial para a saúde do solo e a sustentabilidade a longo prazo dos sistemas agrícolas (Abdalla et al., 2018).

## **2.5 Os sistemas integrados de produção e o consumo de água pelos componentes agrícolas, pecuários e florestais**

Sistemas agroflorestais e práticas de manejo sustentável têm mostrado ser alternativas viáveis para a conservação da biodiversidade do solo. A integração de árvores e culturas agrícolas, aliada ao uso de práticas agroecológicas, pode promover um ambiente mais diversificado e favorável à vida do solo. Pesquisas demonstram que esses sistemas são capazes de melhorar a estrutura do solo, aumentar a retenção de água e nutrientes, e proporcionar habitats para uma ampla gama de organismos (Brown et al., 2015). A diversidade de plantas em sistemas agroflorestais promove a formação de nichos variados, essenciais para a sobrevivência de diversas espécies de solo.

Os sistemas agroflorestais também desempenham um papel importante na manutenção da matéria orgânica do solo, essencial para a saúde do ecossistema do solo. A decomposição da matéria orgânica proveniente das árvores e culturas agrícolas contribui para a formação de húmus, que melhora a estrutura do solo e fornece nutrientes essenciais para os organismos do

solo. Além disso, a cobertura vegetal permanente protege o solo contra a erosão e a compactação, dois dos principais fatores que afetam negativamente a biodiversidade do solo (Bustamante et al., 2019).

Outra vantagem dos sistemas agroflorestais é a promoção de interações ecológicas benéficas. A presença de árvores pode favorecer a colonização de micorrizas arbusculares, fungos que formam associações simbióticas com as raízes das plantas, ajudando na absorção de nutrientes. Essas interações simbióticas são cruciais para a saúde das plantas e a produtividade agrícola, além de melhorar a estrutura do solo e promover a retenção de água. Estudos têm mostrado que solos em sistemas agroflorestais apresentam uma maior atividade microbiana e uma maior diversidade de espécies de solo em comparação com sistemas agrícolas convencionais (Calaça; Bustamante, 2022).

A adoção de práticas de manejo sustentável em sistemas agroflorestais também contribui para a mitigação das mudanças climáticas. Árvores e plantas perenes sequestram carbono da atmosfera, ajudando a reduzir a concentração de gases de efeito estufa. A manutenção da biodiversidade do solo em sistemas agroflorestais pode aumentar a capacidade de sequestro de carbono do solo, uma vez que solos saudáveis e ricos em matéria orgânica têm uma maior capacidade de armazenar carbono. Além disso, a diversidade de espécies de solo pode melhorar a resiliência dos sistemas agrícolas às variações climáticas (Bonfim et al., 2013).

A promoção de sistemas agroflorestais requer políticas públicas que incentivem práticas agrícolas sustentáveis e forneçam apoio técnico e financeiro aos agricultores. Programas de capacitação e extensão rural podem ajudar os agricultores a adotarem técnicas agroflorestais e entenderem os benefícios a longo prazo da conservação da biodiversidade do solo. A implementação de incentivos econômicos, como pagamentos por serviços ambientais, pode motivar a adoção de práticas agroflorestais, contribuindo para a sustentabilidade ambiental e econômica (Bobul'ská et al., 2021).

## **2.6 Retenção de umidade do solo e questão climática, textura do solo e sua influência na retenção de umidade do solo**

A retenção de água que ocorre no solo é devida a interação de diversas características, como a sua textura, onde solos com maior teor de argila, areia fina e com maiores concentrações de carbono orgânico apresentam uma maior retenção, em parte por esta combinação resultar em uma maior quantidade de poros no solo (Silva et al., 2020). Solos com partículas de tamanho

menor, como os argilosos, apresentam uma maior retenção de água por conta de sua maior área de superfície, com maior quantidade de poros (Bordoloi et al., 2019).

Em solos com teores elevados de matéria orgânica pode se ter o desenvolvimento de fungos micorrízicos arbusculares, que além de auxiliarem na absorção de nutrientes e água pelas plantas, também atuam sobre a formação e estabilização de agregados no solo por meio de suas hifas, resultando em uma maior quantidade de poros e maior retenção de água no solo (Ji et al., 2019; Pauwels et al., 2023).

Práticas de manejo conservacionistas, como sistemas de integração lavoura, pecuária e floresta, podem resultar em um aumento do carbono orgânico do solo, que por sua vez pode incrementar a quantidade de agregados e a porosidade do solo, resultando em uma maior retenção de água (Lal, 2020). A recuperação da vegetação de uma área, passando de pastagem para floresta, gerou o incremento da retenção de água do solo, sendo observada a mudança de suas propriedades físicas, reduzindo a sua densidade e aumentando a sua porosidade (Zhang et al., 2021), indicando a importância do planejamento do uso do solo e a vantagem de sistemas integrados como os de lavoura, pecuária e floresta. Inicialmente, este impacto após a adoção de práticas de conservação, é observado sobre as camadas superficiais do solo, de 5 a 10 centímetros, por conta da presença de uma camada vegetal, melhorando a infiltração de água e reduzindo a sua evaporação (Abdallah et al., 2021).

O aquecimento dos ecossistemas, por conta de mudanças climáticas e ações antropogênicas, pode reduzir a quantidade de matéria orgânica nos solos, consequentemente reduzindo a sua capacidade de retenção de água, o que por sua vez pode gerar um maior aquecimento dos solos e uma redução ainda maior da matéria orgânica (Wiesmeier et al., 2016; Bordoloi et al., 2019; Werner et al., 2020). A implementação de práticas conservacionistas e a manutenção de níveis elevados de matéria orgânica do solo podem resultar em agroecossistemas mais resistentes às mudanças climáticas (Lal, 2020).

Uma das formas mais comuns de degradação de solos é a ocorrência da compactação, evidenciada por um aumento da densidade do solo, da resistência do solo à penetração e a uma redução no volume e tamanho de poros, podendo se originar por diferentes causas, como pela utilização de máquinas cada vez mais pesadas nas operações agrícolas (Richart et al., 2005; Silva, 2021). A compactação também pode facilitar a ocorrência de outros processos erosivos subsequentes, como o escoamento superficial, pois dificulta a infiltração da água no perfil (Sá; Santos Júnior, 2005).

A ocorrência da compactação é influenciada por diversos fatores que podem ser avaliados, como a textura do solo, sendo as áreas com altos teores de argila mais suscetíveis,

pois a pressão de compactação é transmitida até uma maior profundidade; a umidade do solo quando se realiza as operações mecanizadas, sendo mais facilmente deformado com a presença de alta umidade; a quantidade de matéria orgânica, contribuindo para uma maior estabilidade de agregados quando se tem maiores concentrações, dificultando a erosão; e pelo tipo, frequência e carga das atividades mecanizadas realizadas (Richart et al., 2005; Reichert; Suzuki; Reinert, 2007).

O sistema de manejo implementado em uma determinada área influencia na manutenção ou alteração de suas características físicas, como o sistema de plantio direto, que mantém uma maior agregação do solo, por um menor revolvimento do perfil, e maior teor de carbono, proveniente da cobertura morta (Sales et al. 2016). Sistemas de manejo que necessitem de uma menor quantidade de operações mecanizadas, como os sistemas integrados de lavoura, pecuária e floresta, contribuem para uma menor compactação do solo, mantendo a estabilidade dos agregados e a retenção de água do solo (Magalhães et al., 2019; Leite et al., 2023).

### 3. METODOLOGIA

O trabalho foi realizado no Município de Uberaba-MG, na Estação Experimental Getúlio Vargas durante o ano de 2022, coordenadas Longitude UTM 189867.14 m E / Latitude UTM 7818322.79 m S, em parceria com a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), em uma área total com nove hectares (ha), a aproximadamente 795 metros de altitude. A precipitação média anual foi de 1681mm; a temperatura média anual é de 22,9°C. O clima é classificado como Aw, tropical quente, segundo a classificação de Köppen e Geiger (Climate Data, 2023).

Foram realizadas amostragens de solo e posteriormente emissão dos laudos das análises de solo em laboratório próprio da EPAMIG, conforme a Tabela 1 a seguir. A avaliação da fertilidade do solo foi realizada mediante 5ª Aproximação (Apêndice A) e recomendação de correção dos índices de saturação de bases e acidez potencial do solo, conforme disposto no 5ª Aproximação (livro de recomendações do Estado de Minas Gerais) mediante a fórmula de elevação da saturação de bases.

Tabela 1. Análise de solo nas profundidades 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm.

0-20 cm															
pH água		Al	Ca	Mg	H+Al	SB	t	T	K	P	P_rem	V	m	M.O	C.Org.
		(cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> )							(mg.dm <sup>-3</sup> )		(mg.L <sup>-1</sup> )	(%)	(dag.kg <sup>-1</sup> )		
5,7	Médio	0,1	1,5	0,8	2,9	2,4	2,5	5,3	26	8,9	23,5	44,9	4,1	2,4	1,4
Relações entre Bases:			Relações entre Bases e T (%):			Relações da Análise Física (%)			Classe Textural						
Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	Ca/T		Mg/T	K/T	Areia			Silte	Argila	*****			
1,88	22,56	12,03	28,48		15,19	1,26	*			*	*				
20-40 cm															
pH água		Al	Ca	Mg	H+Al	SB	t	T	K	P	P_rem	V	m	M.O	C.Org.
		(cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> )							(mg.dm <sup>-3</sup> )		(mg.L <sup>-1</sup> )	(%)	(dag.kg <sup>-1</sup> )		
5,8	Médio	0,1	1	0,4	2,6	1,5	1,6	4,1	44	3,3	20,5	36,8	6,2	2,1	1,2
Relações entre Bases:			Relações entre Bases e T (%):			Relações da Análise Física (%)			Classe Textural						
Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	Ca/T		Mg/T	K/T	Areia			Silte	Argila	*****			
2,5	8,89	3,55	24,32		9,73	2,74	*			*	*				
40-60 cm															
pH água		Al	Ca	Mg	H+Al	SB	t	T	K	P	P_rem	V	m	M.O	C.Org.
		(cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> )							(mg.dm <sup>-3</sup> )		(mg.L <sup>-1</sup> )	(%)	(dag.kg <sup>-1</sup> )		
5,8	Médio	0,1	0,7	0,3	2,3	1,1	1,2	3,4	25	1,3	19,6	31,6	8,6	1,7	1
Relações entre Bases:			Relações entre Bases e T (%):			Relações da Análise Física (%)			Classe Textural						
Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	Ca/T		Mg/T	K/T	Areia			Silte	Argila	*****			
2,33	10,95	4,69	20,81		8,92	1,9	*			*	*				
Observações:															
SB (Soma de Bases Trocáveis) = Ca+Mg+K/391									V (Saturação por Bases) = (100*SB)/T						
T (CTC a pH7) = SB+H+Al									Ca, Mg, Al = KCl						
B = Água quente									m (Saturação por Al) = 100*Al/(Al+SB)						
t (CTC efetiva) = SB+Al									P, K, Cu, Fe, Mn, Zn = Mehlich						
S = Extração com Fosfato Monocálcico em ácido Acético									Matéria Orgânica = Walkley - Black						

Fonte: EPAMIG.

A área total do experimento, por se tratar de um pasto não manejado consolidado há cerca de 20 anos, após as coletas de amostra de solo, foi realizado a limpeza da área com a remoção de cercas e tocos, posteriormente realizou-se preparo do solo da área. O preparo do solo se iniciou com a passagem de duas grades aradoras em área total, sendo realizado terraços antes da segunda passagem da grade aradora. Após essa etapa, iniciou-se a aplicação 1,5 t.ha<sup>-1</sup> do corretivo siligesso (21% Ca, 3% Mg, 7% S e 5,2% Si) em área total com posterior incorporação com uma grade aradora.

Foi feito a demarcação dos blocos 1, 2 e 3 e tratamentos L (lavoura), P (pastagem), F (floresta), ILP (Integração Lavoura-Pecuária), ILPF (Integração Lavoura-Pecuária-Floresta) e PNM (pastagem não manejada), conforme demonstrado na Figura 1, com o auxílio de estacas. Após a demarcação da área, foi realizado o plantio a lanço da braquiária (*Urochloa brizantha* cv Marandu) nos tratamentos P, ILP e ILPF. Três dias depois foi realizado o plantio do milho nos tratamentos L, ILP e ILPF. Para o plantio do milho, objetivou-se uma população final de 60.000 plantas, sendo calculado para o plantio 5 plantas de milho por metro e 0,8 m entre linhas.

Após a etapa de plantio, foi realizado a instalação de tubos de acesso para leitura de umidade do solo (Figura 2) nas profundidades 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60 e 60-100 cm, realizada pelo Equipamento PR2 Prolife Probe (tubo) e HH2 Moisture Meter (controle) (Figura 3), com a leitura da umidade em porcentagem. As mudas de eucalipto *Corymbia citriodora* foram plantadas no espaçamento 3x2 m (tratamento F) e 30x2 m (tratamento ILPF), em abril, com a utilização de FORTH GEL para favorecer a umidade das covas e pegamento das mudas. Em decorrência do ataque de formigas e escassez hídrica, houve alta mortalidade das mudas, sendo realizado replantio da cultura com novas mudas em 23 de junho.

A localização dos tubos para leitura da umidade do solo foi coletada, conforme a Tabela 2.

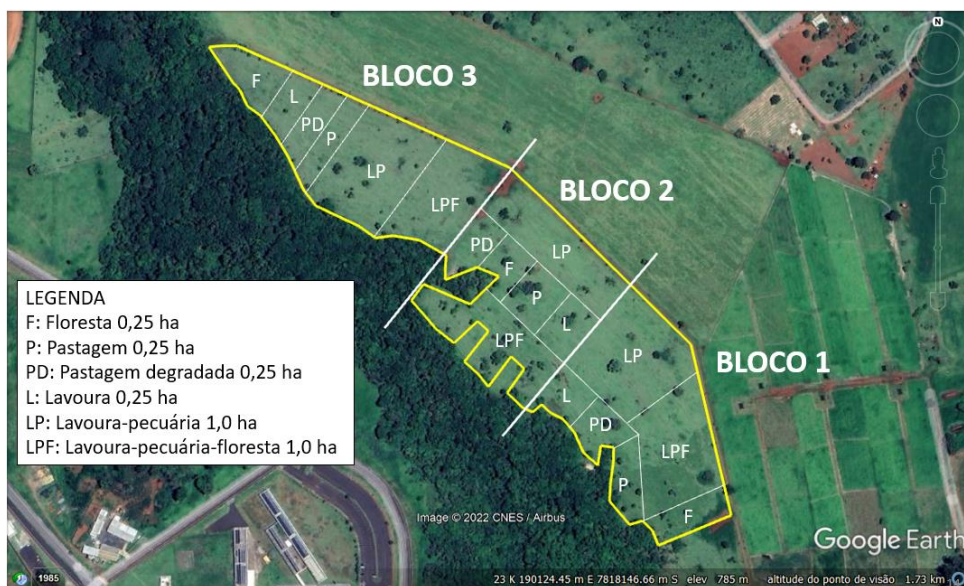
**Tabela 2.** Localização dos tubos de acesso para realização das leituras de umidade (%), coordenadas geográficas.

Bloco	Tratamento	Coordenadas Geográficas							
		UTM 23k				Graus, minutos e segundos			
		Latitude		Longitude		Latitude		Longitude	
1	L	7.818.095,291	m S	189.963,608	m E	19° 42' 29,95560"	S	47° 57' 26,77680"	O
1	ILP	7.818.118,054	m S	189.998,155	m E	19° 42' 29,23560"	S	47° 57' 25,57800"	O
1	ILPF	7.818.010,836	m S	190.038,640	m E	19° 42' 32,74200"	S	47° 57' 24,25320"	O
1	F	7.817.954,102	m S	190.070,375	m E	19° 42' 34,60320"	S	47° 57' 23,19840"	O
1	P	7.817.992,017	m S	190.001,505	m E	19° 42' 33,33240"	S	47° 57' 25,53840"	O
1	PD	7.818.042,115	m S	189.957,819	m E	19° 42' 31,68000"	S	47° 57' 27,00720"	O
2	L	7.818.136,867	m S	189.945,884	m E	19° 42' 28,59480"	S	47° 57' 27,36000"	O
2	ILP	7.818.212,094	m S	189.939,011	m E	19° 42' 26,14680"	S	47° 57' 27,55080"	O
2	ILPF	7.818.146,319	m S	189.827,035	m E	19° 42' 28,22040"	S	47° 57' 31,43160"	O
2	F	7.818.228,273	m S	189.869,156	m E	19° 42' 25,58160"	S	47° 57' 29,93760"	O
2	P	7.818.191,523	m S	189.922,160	m E	19° 42' 26,80560"	S	47° 57' 28,14120"	O
2	PD	7.818.261,634	m S	189.844,229	m E	19° 42' 24,48360"	S	47° 57' 30,77280"	O
3	L	7.818.397,883	m S	189.632,081	m E	19° 42' 19,93680"	S	47° 57' 37,96920"	O
3	ILP	7.818.330,356	m S	189.737,463	m E	19° 42' 22,19040"	S	47° 57' 34,39440"	O
3	ILPF	7.818.314,052	m S	189.793,784	m E	19° 42' 22,75200"	S	47° 57' 32,47200"	O
3	F	7.818.423,001	m S	189.571,000	m E	19° 42' 19,08612"	S	47° 57' 40,04960"	O
3	P	7.818.377,146	m S	189.688,375	m E	19° 42' 20,64240"	S	47° 57' 36,05040"	O
3	PD	7.818.383,757	m S	189.654,470	m E	19° 42' 20,40840"	S	47° 57' 37,20960"	O

Fonte: Elaborado pela autora.

Foram realizadas adubação de plantio de 320 kg  $\text{há}^{-1}$  de 8-28-16 para o milho, 150 kg  $\text{há}^{-1}$  de MAP para a braquiária e 120g/planta de MAP para o eucalipto. E adubação de cobertura de 300 kg. $\text{há}^{-1}$  de 30-00-20 para o milho.

**Figura 1.** Esquema da demarcação dos blocos, tratamentos e área individual de cada tratamento por bloco.



Fonte: Arquivo pessoal.

**Figura 2.** Instalação dos tubos de acesso para a realização de leituras de umidade do solo.





Fonte: Arquivo pessoal.

**Figura 3.** Equipamento PR2 Prolife Probe (tubo) e HH2 Moisture Meter (controle).



Fonte: Arquivo pessoal.

As leituras do percentual de umidade do solo foram feitas diariamente preferencialmente no período da manhã. Devido à sensibilidade do equipamento, não foram realizadas as leituras durante o período de chuva e quando os tubos de acesso apresentavam-se molhados em seu interior. Foi realizado o acompanhamento do desenvolvimento das culturas, bem como a incidência de pragas, realizando aplicação de defensivos conforme a necessidade.

Os dados de leitura do percentual de umidade do solo foram colocados em planilha e avaliados somente os dias em que todos os tratamentos possuíam leitura, sendo assim, as avaliações foram agrupadas em três épocas: outono (abril e maio), inverno (junho, julho e agosto) e primavera (setembro, outubro e novembro).

Os dados de precipitação local diária foram disponibilizados pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia).

Para a obtenção dos valores de matéria seca (MS) foi utilizada a estufa de ventilação forçada a 55°C por 72 horas. As amostragens na cultura da braquiária foram realizadas pelo quadrado de 1 metro (tratamentos P e PNM) e nas entrelinhas do milho na metragem 0,8 x 0,5 metros cortando-se o material vegetal rente ao solo; na cultura do eucalipto e do milho foi selecionado em 1 m<sup>2</sup> as plantas mais representativas dos tratamentos, sendo o resultado extrapolado para um hectare.

O delineamento estatístico foi de blocos casualizados sendo que para análise da umidade do solo os dados foram tratados em um fatorial triplo (com parcelas sub sub divididas) em esquema de 6 x 6 x 3 (seis sistemas de uso do solo, seis profundidades e 3 épocas), já para as demais variáveis analisadas (matéria fresca e seca, produção de espiga fresca e seca, capacidade de suporte, produção de silagem fresca e seca, biomassa vegetal fresca e seca e ganho médio diário dos animais) foram comparadas as médias entre os sistemas de uso do solo avaliados. Os dados obtidos foram analisados pelo programa RStudio, utilizando o teste Tukey a 0,05 de significância.

#### **4. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Os sistemas de manejo analisados nesse estudo diferiram quanto à retenção de umidade nas épocas e profundidades de avaliação (Tabela 3). Conforme podemos observar, as maiores diferenças entre os sistemas quanto à retenção de umidade em profundidade foram observadas no Outono, quando a pastagem reformada apresentou maior retenção de umidade em comparação aos demais sistemas na profundidade de 100 cm. Na Primavera podemos observar que a partir dos 20 cm de profundidade os sistemas não diferenciam mais com relação a essa retenção de umidade.

**Tabela 3.** Teor de umidade no solo em porcentagem, nos períodos de outono, inverno e primavera, nas profundidades de 10, 20, 30, 40, 60 e 100 cm pelos sistemas Floresta (F), Lavoura (L), Integração Lavoura-Pecuária (ILP), Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), Pastagem reformada (P) e Pastagem não manejada (PNM) após o primeiro ano de instalação do experimento.

Profundidade do solo (cm)																								
0-10					10-20				20-30				30-40				40-60				60-100			
Outono																								
F	13,72	ABC	ab	C	18,53	AB	ab	BC	21,87	A	ab	AB	19,17	ABC	a	BC	21,96	AB	a	AB	25,74	AB	a	A
L	9,84	BC	b	C	17,12	AB	a	B	18,80	AB	b	AB	18,48	ABC	b	AB	20,47	BC	b	AB	23,93	AB	ab	A
ILP	10,68	BC	b	B	16,06	AB	a	AB	18,71	AB	b	A	17,83	BC	b	A	15,86	C	b	AB	21,15	B	ab	A
ILPF	8,48	C	ab	C	14,50	B	a	BC	18,51	B	b	B	14,82	C	b	B	15,88	C	b	B	22,25	B	ab	A
P	14,80	AB	a	C	21,77	A	a	B	23,63	A	a	AB	24,33	A	a	AB	27,22	A	a	AB	28,85	A	a	A
PNM	18,08	A	a	B	20,09	AB	a	AB	22,30	A	a	AB	20,94	AB	a	AB	20,21	BC	b	AB	25,22	AB	ab	A
Inverno																								
F	9,80	AB	b	C	15,49	A	b	BC	18,11	A	b	AB	16,03	A	a	B	19,28	A	a	AB	22,85	A	a	A
L	6,33	AB	b	C	11,79	A	b	BC	13,70	AB	c	B	13,92	A	b	AB	16,34	A	b	AB	19,92	AB	b	A
ILP	7,09	AB	b	B	10,98	A	b	AB	14,05	AB	b	A	14,38	A	b	A	13,87	A	b	A	16,78	B	b	A
ILPF	5,05	B	b	C	9,53	A	b	BC	11,59	B	b	AB	11,99	A	b	AB	13,84	A	b	AB	17,54	AB	b	A
P	8,17	AB	b	C	14,09	A	b	BC	15,20	AB	b	B	16,18	A	b	AB	18,80	A	b	AB	21,38	AB	b	A
PNM	12,06	A	a	B	14,86	A	b	AB	16,54	AB	b	AB	15,89	A	b	AB	16,00	A	b	AB	20,65	AB	b	A
Primavera																								
F	17,81	AB	a	B	22,11	A	a	AB	23,71	A	a	AB	20,61	A	a	AB	24,20	A	a	A	25,30	A	a	A
L	14,96	AB	a	B	21,70	A	a	A	23,90	A	a	A	24,26	A	b	A	26,96	A	a	A	26,93	A	a	A
ILP	16,15	AB	a	B	20,52	A	a	AB	23,94	A	a	A	23,75	A	a	A	22,44	A	a	A	24,10	A	a	A
ILPF	12,25	B	a	C	18,44	A	a	B	21,27	A	b	AB	20,92	A	a	AB	22,49	A	a	AB	25,42	A	a	A
P	16,24	AB	a	B	23,44	A	a	A	24,90	A	a	A	25,88	A	a	A	27,73	A	a	A	26,09	A	ab	A
PNM	20,01	A	a	B	23,61	A	a	AB	26,46	A	a	A	25,74	A	a	AB	26,27	A	a	A	28,29	A	a	A
C. V. (%) = 13,73																								

C. V. (%) = 13,73

\*Médias seguidas por letras maiúsculas em negrito distintas na coluna (dentro de uma mesma época e profundidade) diferem estatisticamente de acordo com teste de Tukey (0,05 de significância). Médias seguidas por letras minúsculas na mesma coluna (dentro de uma mesma profundidade e sistema) diferem estatisticamente de acordo com teste de Tukey (0,05 de significância). Médias seguidas de letras maiúsculas distintas na mesma linha (dentro de uma mesma época e sistema) diferem estatisticamente de acordo com teste de Tukey (0,05 de significância).

No período da primavera houve diferença entre os sistemas de produção apenas na profundidade de 0-10 cm, sendo o sistema ILPF o com menor teor de umidade. A partir da profundidade de 10-20 cm não houve diferença entre os sistemas, com uma umidade entre 18,44 e 28,29%. De acordo com Chen et al. (2007), a dinâmica de água no solo é afetada por uma série de fatores, tais como, topografia, propriedades físicas do solo, cobertura vegetal, precipitação e condições meteorológicas.

O avanço do aquecimento global antropogênico, juntamente com o consequente aumento da gravidade e extensão da degradação dos solos, tem intensificado a ocorrência de secas nos agroecossistemas, tanto em termos de intensidade quanto de duração. Segundo Lal R. (2020), a restauração do conteúdo de matéria orgânica do solo (MOS) em solos degradados ou esgotados pode melhorar a retenção de água no solo, especialmente na capacidade de campo, em comparação com o ponto de murcha permanente, aumentando assim a capacidade de água disponível para as plantas.

Práticas de gestão que melhoram a saúde do solo através da restauração do conteúdo de MOS incluindo a agricultura de conservação, culturas de cobertura, uso de cobertura morta e sistemas agrícolas que envolvem a integração de culturas com árvores e gado quando adaptadas às condições específicas de cada local são ferramentas úteis no aumento da retenção de umidade pelo solo.

A adoção de sistemas de agricultura mais conservacionistas é fundamental para melhorar a retenção de umidade do solo. Práticas como a agricultura de conservação, que envolve o mínimo revolvimento do solo, ajudam a manter a estrutura do solo e a proteger a matéria orgânica. Isso não só reduz a erosão, mas também aumenta a capacidade do solo de armazenar água, tornando-o mais resistente a períodos de seca (Das et al., 2018).

Culturas de cobertura desempenham um papel vital na conservação da umidade do solo. Elas cobrem o solo durante o período de entressafra, protegendo-o da erosão e aumentando a infiltração de água. Ambus et al. (2018) confirma em seus estudos que as raízes das culturas de cobertura ajudam a melhorar a estrutura do solo e a aumentar o conteúdo de matéria orgânica, o que, por sua vez, melhora a retenção de água.

Na Primavera foram registrados os maiores teores de umidade no solo, independente dos sistemas, com o aumento dos índices pluviométricos nesse período, mais água penetra e percola pelo perfil chegando a maiores profundidades, o que corroborou para a diferenciação estatística observada na profundidade de 100 cm quando comparada às demais profundidades estudadas (**Tabela 3**). A precipitação total para os meses avaliados no período de Primavera foi

de 269,2 mm, consideravelmente superior ao observado no Outono, de 98 mm e no Inverno de 21,8 mm.

Segundo Das et al (2018), a utilização de cobertura morta de resíduos agrícolas é outra prática conservacionista que pode significativamente aumentar a retenção de umidade do solo. A cobertura morta atua como uma barreira física, reduzindo a evaporação da água do solo e ajudando a manter a umidade por mais tempo (Ambus et al., 2018). Além disso, à medida que a cobertura morta se decompõe, ela contribui para o aumento do conteúdo de matéria orgânica no solo.

Sistemas agrícolas complexos que integram culturas com árvores e gado, como os sistemas agroflorestais, têm mostrado ser eficazes na melhoria da retenção de umidade do solo (Jat et al., 2023). As árvores ajudam a proteger o solo do sol direto e do vento, reduzindo a evaporação da água. Além disso, a matéria orgânica proveniente das folhas e raízes das árvores contribui para o aumento da capacidade de retenção de água do solo.

A implementação dessas práticas conservacionistas requer um planejamento cuidadoso e a adaptação às condições locais específicas. No entanto, os benefícios em termos de aumento da retenção de umidade do solo e resiliência às mudanças climáticas são significativos. Segundo Jat et al (2023), a pesquisa contínua e a educação dos agricultores sobre os benefícios dessas práticas são essenciais para promover uma adoção mais ampla e eficaz dos sistemas de agricultura conservacionista.

No Brasil, as diferenças de umidade registradas entre as estações do outono à primavera são bastante marcantes, principalmente devido às variações climáticas típicas de cada período. Segundo Gomes et al (2019), durante o outono e o inverno, as precipitações tendem a ser menores, resultando em uma diminuição da umidade do solo (**Tabela 3**). Este período é caracterizado por temperaturas mais baixas e um clima mais seco, o que pode reduzir a disponibilidade de água para as plantas e impactar negativamente o desenvolvimento das culturas. Já na primavera, as chuvas se tornam mais frequentes e intensas, aumentando significativamente a umidade do solo e promovendo um ambiente mais favorável para o crescimento das plantas. Essa variação na umidade do solo entre as estações exige um manejo adequado para garantir a produtividade agrícola durante todo o ano.

Os sistemas de agricultura integrada desempenham um papel fundamental na retenção de umidade do solo, especialmente em face das variações sazonais. Práticas como a rotação de culturas, a integração lavoura-pecuária e o uso de cobertura vegetal ajudam a melhorar a estrutura do solo e aumentam sua capacidade de retenção de água (Confessor et al., 2022). A cobertura vegetal, por exemplo, protege o solo contra a erosão e a perda de umidade, criando

um microclima mais estável. Além disso, a matéria orgânica proveniente de resíduos vegetais e esterco animal contribui para a formação de um solo mais fértil e com maior capacidade de retenção de água. Essas práticas, características dos sistemas de agricultura integrada, são essenciais para manter a umidade do solo durante as estações secas e garantir a sustentabilidade da produção agrícola ao longo do ano.

Com relação às estimativas de produção de massa fresca e seca da planta de milho como a produtividade, não foram observadas diferenças estatísticas significativas entre os sistemas de Lavoura, Integração Lavoura-Pecuária e Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (Tabela 4).

**Tabela 4.** Estimativa de produtividade de matéria fresca (MF) e seca (MS) e produção de espiga ( $t\ ha^{-1}$ ) fresca (EF) e seca (ES) pelos sistemas Lavoura, Integração Lavoura-Pecuária e Integração Lavoura-Pecuária-Floresta após primeiro ano de instalação do experimento.

Sistemas	MF	MS	EF	ES
$t\ ha^{-1}$				
<b>Lavoura</b>	28,12 A	14,64 A	10,31 A	5,38 A
<b>Integração Lavoura-Pecuária</b>	28,75 A	14,32 A	10,93 A	5,44 A
<b>Integração Lavoura-Pecuária-Floresta</b>	28,75 A	14,02 A	11,56 A	5,65 A
<b>C.V. (%)</b>	13,43	15,54	12,78	15,79

\*Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem estatisticamente de acordo com teste de Tukey (0,05 de significância).

A estimativa de produtividade de matéria fresca (MF) e seca (MS), assim como a produção de espiga fresca (EF) e seca (ES), não variou significativamente entre os sistemas de Lavoura, Integração Lavoura-Pecuária e Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, indicando que uma resposta sobre esses fatores produtivos pode necessitar de um maior tempo de avaliação para ser observada. Segundo Confessor et al (2022), o sistema de Lavoura, a produção é frequentemente maximizada devido ao uso intensivo de insumos e técnicas de cultivo específicas para cada cultura, resultando em altos rendimentos de MF e MS. Entretanto, esse sistema pode sofrer com a degradação do solo e a redução da sustentabilidade a longo prazo. Por outro lado, segundo esse mesmo autor, o sistema de Integração Lavoura-Pecuária integra a produção agrícola com a criação de animais, permitindo o uso eficiente de resíduos vegetais como forragem, o que pode aumentar a produtividade de MS e EF devido à melhoria na fertilidade do solo e ao controle de pragas através da rotação de culturas e pastagens.

O sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, que inclui componentes arbóreos, oferece benefícios adicionais, como a melhoria do microclima e a proteção contra a erosão do solo, resultando em um aumento na produção de MF e ES. As árvores proporcionam sombra e

reduzem a evapotranspiração, mantendo a umidade do solo e promovendo um ambiente mais favorável para o crescimento das plantas (Bertoni et al., 2017). Além disso, a diversificação das fontes de renda e a otimização do uso da terra contribuem para uma maior sustentabilidade e resiliência do sistema agrícola. Embora a produção de espiga seca (ES) possa ser ligeiramente menor devido à competição por recursos entre plantas, pastagens e árvores, a diversidade de produtos e a melhoria das condições de solo e microclima compensam essas diferenças. Segundo Carvalho et al (2020), a integração de diferentes componentes nos sistemas de Integração Lavoura-Pecuária e Integração Lavoura-Pecuária-Floresta não apenas aumenta a produtividade de matéria fresca e seca, mas também melhora a sustentabilidade e a resiliência da produção agrícola.

Observando a Tabela 5, podemos verificar que, com exceção da área de pastagem não manejada, todos os demais sistemas apresentaram produção mais elevada do capim Marandu, principalmente as áreas de integração de Lavoura-Pecuária e Lavoura-Pecuária-Floresta que apresentaram produção de matéria fresca superior a 2 vezes a produção da área com pastagem não manejada e 1,7 vezes superior a esse sistema com relação à capacidade de suporte.

**Tabela 5.** Estimativa de produtividade ( $t\ ha^{-1}$ ) de matéria fresca (MF) e seca (MS) e capacidade de suporte (UA/ha/período pastejado) do capim Marandu, pelos sistemas Integração Lavoura-Pecuária, Integração Lavoura-Pecuária-floresta, Pasto reformado e Pasto não manejado após primeiro ano de instalação do experimento e 62 dias de pastejo.

Sistemas	MF	MS	Capacidade de suporte
	$t\ ha^{-1}$		UA/ha/período pastejado
<b>Integração Lavoura-Pecuária</b>	18,18 A	4,11 A	5,9 A
<b>Integração Lavoura-Pecuária-Floresta</b>	18,38 A	4,08 A	5,85 A
<b>Pasto reformado</b>	16,21 A	4,26 A	6,11 A
<b>Pasto não manejado</b>	7,46 B	2,36 B	3,39 B
<b>C.V. (%)</b>	24,13	19,40	19,4

\*Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem estatisticamente de acordo com teste de Tukey (0,05 de significância).

A estimativa de produtividade de matéria fresca (MF) e seca (MS) do capim Marandu, além da produção de espiga fresca (EF) e da capacidade de suporte (UA/ha/período pastejado), variou consideravelmente entre Pasto não manejado e os demais sistemas. No sistema de Integração Lavoura-Pecuária, a integração das culturas com a criação de animais promove um uso eficiente dos recursos, resultando em uma alta produtividade de MF e MS. Segundo vários pesquisadores, a rotação de culturas e pastagens melhora a fertilidade do solo e o controle de pragas, contribuindo para uma maior produção de EF e uma capacidade de suporte elevada

(Carvalho et al., 2001; Marchao et al., 2009, Martuscello et al., 2009). O capim Marandu, bem manejado nesse sistema, pode atingir produtividades significativas, além de sustentar uma alta densidade de unidades animais (UA) por hectare durante o período de pastejo.

No sistema Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, a inclusão de componentes arbóreos proporciona benefícios adicionais, como a melhoria do microclima e a proteção contra a erosão do solo. A sombra das árvores reduz a evapotranspiração, aumentando a umidade do solo e, conseqüentemente, a produtividade de MF e MS do capim Marandu (Santos et al., 2011). A diversidade de espécies vegetais e a presença de árvores também melhoram a sustentabilidade do sistema. Embora a produção de EF possa ser afetada pela competição por recursos, a capacidade de suporte tende a ser alta devido à melhoria das condições ambientais e de solo. Em contraste, segundo Vizzotto et al (2000), na pastagem reformada, a produtividade de MF e MS é elevada, mas depende do manejo intensivo para manter a qualidade do solo e a cobertura vegetal. Este sistema, quando bem manejado, pode oferecer uma capacidade de suporte similar à dos sistemas integrados.

Por outro lado, a pastagem não manejada apresenta os piores indicadores de produtividade e capacidade de suporte. A degradação do solo, a perda de fertilidade e a baixa cobertura vegetal resultam em uma produção reduzida de MF, MS e EF do capim Marandu. A capacidade de suporte é significativamente menor, limitando o número de unidades animais que podem ser mantidas por hectare (Marchao et al., 2009, Martuscello et al., 2009).

Em contraste, era esperado que a pastagem não manejada apresentasse os piores indicadores de produtividade de silagem em razão principalmente da degradação do solo, caracterizada pela baixa fertilidade, compactação e erosão, limita severamente o crescimento das plantas e, conseqüentemente, a produção de MF e MS. O manejo inadequado e a falta de insumos resultam em uma cobertura vegetal insuficiente para a produção. A produtividade nesses sistemas é significativamente menor em comparação aos sistemas de Integração Lavoura-Pecuária e Integração Lavoura-Pecuária-Floresta. A recuperação das pastagens degradadas requer intervenções substanciais, como a correção da acidez do solo, a reintrodução de espécies forrageiras adequadas e a implementação de práticas de manejo sustentável para restaurar a produtividade e a capacidade de suporte do solo.

Com relação à produção da silagem, os sistemas de manejo Lavoura, Integração Lavoura-Pecuária e Integração Lavoura-Pecuária-Floresta não se diferiram estatisticamente (Tabela 6). A introdução do sistema integrado Lavoura-Pecuária mesmo não diferindo estatisticamente da Integração Lavoura-Pecuária-Floresta se mostra um sistema promissor quanto à produção de matéria fresca para silagem.

**Tabela 6.** Estimativa de produtividade ( $t\ ha^{-1}$ ) de Silagem fresca (SF) e seca (SS), pelos sistemas Lavoura, Integração Lavoura-Pecuária e Integração Lavoura-Pecuária-Floresta após primeiro ano de instalação do experimento.

Sistemas	SF	SS
$t\ ha^{-1}$		
<b>Lavoura</b>	28,12 A	14,64 A
<b>Integração Lavoura-Pecuária</b>	34,89 A	16,50 A
<b>Integração Lavoura-Pecuária-Floresta</b>	36,52 A	16,65 A
<b>C.V. (%)</b>	20,22	17,49

\*Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem estatisticamente de acordo com teste de Tukey (0,05 de significância).

A estimativa de produtividade de silagem fresca (SF) e seca (SS) variou substancialmente entre os sistemas de Lavoura, e os demais sistemas estudados, refletindo prováveis diferenças no manejo e na saúde do solo em cada sistema. Segundo Silva et al. (2020), no sistema de Lavoura, a produção de silagem geralmente atinge altos níveis de SF e SS devido à aplicação intensiva de tecnologias agrícolas e insumos, como fertilizantes e defensivos agrícolas. Este sistema foca exclusivamente na maximização da produção vegetal, proporcionando um ambiente controlado e otimizado para o crescimento das culturas destinadas à silagem (Balbino et al., 2011).

A alta produtividade seria alcançada graças ao manejo intensivo do solo e ao uso de cultivares melhoradas, que resultam em rendimentos elevados de matéria fresca e seca, o que não foi observado nesse trabalho, onde a produção de silagem acabou sendo menor na área de lavoura quando comparada aos sistemas integração Lavoura-Pecuária e Integração Lavoura-Pecuária-Floresta.

No sistema de Integração Lavoura-Pecuária, a integração da produção agrícola com a pecuária permite uma utilização mais eficiente dos recursos, promovendo uma sinergia entre a rotação de culturas e a pastagem. Segundo pesquisa de Bernadino e Garcia (2009), este sistema beneficia-se da adubação orgânica proveniente do esterco animal e da melhoria da estrutura do solo devido ao pastejo controlado. Como resultado, a produtividade de silagem fresca e seca pode ser alta, embora um pouco inferior ao sistema de Lavoura, devido à divisão dos recursos entre a produção vegetal e a pecuária, entretanto, segundo Coletti (2016), os benefícios a longo prazo, como a melhoria da fertilidade do solo e a redução da incidência de pragas e doenças, podem compensar essa diferença inicial na produtividade.

Os sistemas integrados de produção, de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta e Integração Lavoura-Pecuária apresentaram os maiores teores de produção de Biomassa fresca, assim como a Lavoura, em comparação a todos os demais sistemas (Tabela 7), confirmando os efeitos positivos desses sistemas para a produção agrícola.

**Tabela 7.** Estimativa de produtividade ( $t\ ha^{-1}$ ) de Biomassa vegetal fresca (BF) e seca (BS), pelos sistemas Floresta, Lavoura, Integração Lavoura-Pecuária, Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, Pastagem reformada e Pastagem não manejada após o primeiro ano de instalação do experimento.

Sistemas	BF	BS
$t\ ha^{-1}$		
<b>Floresta</b>	0,0064 C	0,0030 B
<b>Lavoura</b>	28,125 A	14,64 A
<b>Integração Lavoura-Pecuária</b>	34,89 A	16,50 A
<b>Integração Lavoura-Pecuária-Floresta</b>	36,52 A	16,65 A
<b>Pastagem reformada</b>	10,25 B	3,15 B
<b>Pastagem não manejada</b>	6,9 BC	2,45 B
<b>C.V. (%)</b>	24,28	22,37

\*Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem estatisticamente de acordo com teste de Tukey (0,05 de significância).

A estimativa de produtividade de biomassa vegetal fresca (BF) e seca (BS) variou consideravelmente entre os sistemas Floresta, Lavoura, Integração Lavoura-Pecuária, Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, pastagem reformada e pastagem não manejada, refletindo as diferenças nas práticas de manejo e nas condições do solo em cada sistema. Nos sistemas de Floresta, a produtividade de BF e BS tende a ser alta devido à diversidade de espécies e à cobertura contínua do solo, entretanto em nossa pesquisa não constatamos isso. As árvores e outras plantas perenes promovem um ambiente estável e resiliente, com um ciclo de nutrientes eficiente e uma alta capacidade de sequestro de carbono. No entanto, segundo estudos de Lulu et al. (2019), a produção de biomassa é distribuída ao longo de muitos anos, e a colheita direta pode não ser tão frequente quanto em sistemas agrícolas.

No sistema de Lavoura, a produção de BF e BS é intensiva e focada em culturas anuais de alto rendimento. O uso de fertilizantes e controle de pragas resulta em alta produtividade de biomassa em curto prazo. No entanto, esse sistema pode levar à degradação do solo se não forem adotadas práticas sustentáveis, como a rotação de culturas e a manutenção da cobertura vegetal entre as safras (Mascheroni, 2015). No sistema de Integração Lavoura-Pecuária, a integração da produção agrícola com a criação de animais contribui para um manejo mais

equilibrado do solo e dos recursos. A rotação de culturas e pastagens melhora a estrutura do solo e a fertilidade, resultando em uma boa produtividade de BF e BS. Este sistema também se beneficia da reciclagem de nutrientes através do esterco animal, que é utilizado como adubo orgânico.

O sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta combina os benefícios de todos os componentes, proporcionando uma maior sustentabilidade e produtividade a longo prazo (Oliveira, 2005; Paciullo, 2007). A presença de árvores no sistema melhora o microclima e a estrutura do solo, enquanto as culturas agrícolas e a pecuária mantêm a produção contínua de biomassa. Esse sistema tende a ter uma alta produtividade de BF e BS devido à sinergia entre os componentes e à eficiência no uso dos recursos. Segundo Vieira-Júnior (2019), a pastagem reformada, quando bem manejada, pode alcançar níveis elevados de produtividade de biomassa, mas isso depende da recuperação da fertilidade do solo e da introdução de espécies forrageiras de alta qualidade. A produtividade de BF e BS pode ser significativa, especialmente se forem adotadas práticas de manejo sustentável e adubação adequada (Ribeiro et al., 2022).

Por outro lado, a pastagem não manejada quando comparada aos demais sistemas produtivos, apresentou os piores indicadores de produtividade de biomassa. A degradação do solo, a baixa fertilidade e a cobertura vegetal insuficiente resultam em uma baixa produção de BF e BS (Ribeiro et al., 2022). A recuperação dessas áreas requer intervenções substanciais, como a correção do solo, a reintrodução de espécies vegetais adequadas e a implementação de práticas de manejo sustentável.

O ganho médio diário dos animais com 62 dias de pastejo não apresentou diferenças estatísticas significativas entre os sistemas avaliados (Tabela 8). Embora os maiores ganhos tenham sido observados numericamente na área de pastagem não manejada, a diferença em relação a área com menor ganho não foi superior a 15%.

**Tabela 8.** Ganho médio diário (GMD) dos animais (kg) após 62 dias de pastejo nos sistemas Integração Lavoura-Pecuária, Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, Pastagem reformada e Pastagem não manejada.

Sistemas	GMD kg
Integração Lavoura-Pecuária	0,51 A
Integração Lavoura-Pecuária-Floresta	0,56 A
Pastagem reformada	0,53 A
Pastagem não manejada	0,60 A
C.V. (%)	14,10

\*Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem estatisticamente de acordo com teste de Tukey (0,05 de significância).

Uma das explicações para a ausência de diferença significativa entre as áreas de agricultura integrada (Lavoura-Pecuária a Lavoura-Pecuária-Floresta) e as áreas convencionais (Lavoura, pastagem reformada e não manejada) pode estar relacionada ao fato de ser o primeiro ano de implementação desses sistemas de manejo. O solo perde muito de suas características com as práticas convencionais de preparo, e para a recuperação e estabilização de um sistema são necessários anos de práticas mais conservacionistas. Já era esperado que os ambientes tivessem um comportamento semelhante e é esperado que ao longo dos anos esses sistemas se distanciem estatisticamente nessas e em outras características, assim como foi observado para os sistemas de agricultura integrada quanto à produção de biomassa verde.

O Ganho Médio Diário (GMD) dos animais é um indicador importantíssimo de eficiência produtiva e de saúde do pasto. Após 62 dias de pastejo, observa-se que o GMD não variou entre os diferentes sistemas de manejo, como Integração Lavoura-Pecuária, Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, Pastagem Reformada e Pastagem não manejada. Segundo estudos de Ribeiro (2018), no sistema de Integração Lavoura-Pecuária, a integração das culturas agrícolas com a pecuária oferece benefícios mútuos que se refletem em um GMD elevado. A rotação de culturas e pastagens melhora a fertilidade do solo e a qualidade da forragem disponível, proporcionando aos animais uma dieta rica em nutrientes. Além disso, o manejo adequado do pastejo evita a degradação do solo e promove um crescimento vigoroso das pastagens, resultando em ganhos diários de peso significativos para os animais (Santos et al., 2017).

No sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, a inclusão de árvores proporciona sombra e um microclima mais ameno, o que pode reduzir o estresse térmico nos animais e melhorar o GMD. As árvores também contribuem para a melhoria da estrutura do solo e aumentam a retenção de umidade, o que favorece o crescimento das forrageiras. Esse ambiente mais equilibrado e sustentável se reflete em um GMD competitivo, semelhante ou até superior ao observado no sistema de Integração Lavoura-Pecuária puro. Por outro lado, Ribeiro (2018), observou que a pastagem reformada, quando bem manejada, pode oferecer um GMD alto devido à renovação da cobertura vegetal e à melhoria da fertilidade do solo. A introdução de espécies forrageiras de alta qualidade e a correção da acidez do solo são práticas comuns que contribuem para um desempenho positivo dos animais.

Em contraste, era esperado que a pastagem não manejada apresentasse os piores resultados em termos de GMD, a baixa qualidade da forragem, a compactação do solo e a

reduzida disponibilidade de nutrientes afetam negativamente o ganho de peso dos animais. O manejo inadequado e a falta de práticas de recuperação resultam em um pasto que não consegue sustentar um crescimento saudável dos animais, levando a um GMD consideravelmente menor.

Segundo estudos de Lima et al. (2015), a qualidade da pastagem é um fator determinante para o desempenho dos sistemas de produção animal, influenciando diretamente o ganho médio diário (GMD) dos animais, a capacidade de suporte, a produção de biomassa vegetal, e a produção específica de forrageiras como capim Marandu e braquiária, além da produção de milho para silagem. Sistemas de agricultura integrada, como Integração Lavoura-Pecuária (ILP), Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), comparados a pastagens reformadas e degradadas, apresentam diferenças marcantes nesses aspectos (Araújo et al., 2019).

Nos sistemas de agricultura integrada, a qualidade da pastagem é mantida ou melhorada através de práticas sustentáveis, como rotação de culturas, adubação orgânica e uso eficiente dos recursos. De acordo com Bento et al. (2020), essas práticas promovem um solo mais fértil e saudável, resultando em uma produção elevada de biomassa vegetal. O capim Marandu e a braquiária, por exemplo, apresentam um crescimento vigoroso e uma alta densidade de cobertura, proporcionando uma forragem rica em nutrientes para os animais. Essa qualidade superior da pastagem se reflete em um GMD mais alto, pois os animais têm acesso a uma dieta de melhor qualidade e mais abundante (Araújo et al., 2019). Além disso, a capacidade de suporte desses sistemas é elevada, permitindo uma maior densidade de animais por hectare sem comprometer a saúde do solo e das plantas.

Já Brogna et al. (2018) afirmam que pastagens reformadas, embora apresentem uma melhoria significativa em relação às pastagens degradadas, ainda dependem de um manejo contínuo para manter a qualidade. A introdução de espécies forrageiras de alta qualidade, como o capim Marandu e a braquiária, e a correção da acidez do solo são essenciais para garantir uma produção adequada de biomassa vegetal e um bom desempenho dos animais. No entanto, a capacidade de suporte pode ser limitada se o manejo não for rigoroso, e a recuperação completa da fertilidade do solo pode levar tempo (Araújo et al., 2019).

A produção de milho para silagem também é influenciada positivamente pelos sistemas de agricultura integrada, de acordo com dados de Cruz et al. (2019) e Reis et al. (2020), em sistemas ILP e ILPF, a rotação de culturas e a adubação orgânica resultam em um solo mais fértil e propício para o cultivo do milho, levando a uma produção elevada de silagem fresca (SF) e seca (SS). Essa produção adicional de silagem melhora a dieta dos animais, especialmente durante períodos de escassez de pastagem, e contribui para um GMD consistente ao longo do ano (Reis et al., 2020). Em pastagens reformadas, a produção de milho para silagem

pode ser boa, mas depende do estado de recuperação do solo e do manejo aplicado (Cruz et al., 2019). Nas pastagens degradadas, a produção de milho é geralmente inviável sem uma intervenção significativa para restaurar a fertilidade do solo.

## 5. CONCLUSÃO

Os sistemas de produção apresentaram retenção de umidade distintas até 100 cm para as épocas mais secas (Outono e Inverno) e apenas nas camadas mais superficiais do solo na época mais úmida (Primavera).

Com relação à produção de silagem, milho, massa fresca e seca do capim Marandu, biomassa vegetal fresca e ganho médio diário, os sistemas de Lavoura, ILP e ILPF apresentaram as maiores produções de biomassa, e o sistema de pastagem não manejada apresentou a menor produção de massa seca e fresca.

A ausência de diferenças para as outras variáveis avaliadas pode ser explicada por este ser o primeiro ano de implantação dos sistemas, sendo necessário um acompanhamento por um maior tempo para que seja possível uma visualização mais assertiva das diferenças.

## REFERÊNCIAS

- ABDALLA, A. L.; SILVA, F. F.; GOMES, S. T.; SOUZA, S. F.; PEREIRA, L. G. R. Methane emissions and estimates of ruminal fermentation parameters in dairy cows fed different dietary concentrate levels. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 47, e20170218, 2018.
- ADBALLHA, A. M.; JAT, H. S.; CHOUDHARY, M.; ABDELATY, E. F.; SHARMA, P. C.; JAT, M. L. Conservation Agriculture Effects on Soil Water Holding Capacity and Water-Saving Varied with Management Practices and Agroecological Conditions: A Review. **Agronomy**, v. 11, n. 9, 2021. <https://www.mdpi.com/2073-4395/11/9/1681>
- AMBUS, J. V., REICHERT, J. M., GUBIANE, P. I., CARVALHO, P. C. F. Changes in composition and functional soil properties in long-term no-till integrated crop-livestock system. **Geoderma**, v. 330, p. 232-243, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.06.005>
- ARAÚJO, M.L.S.; SANO, E.E.; BOLFE, É.L.; SANTOS, J.R.N.; DOS SANTOS, J.S.; SILVA, F.B. Spatiotemporal dynamics of soybean crop in the Matopiba region, Brazil (1990-2015). **Land Use Policy**, v. 80, p. 57-67, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.09.040>
- BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; MORAES, A.; MARTÍNEZ, G. B.; ALVARENGA, R. C.; KICHEL, A. N.; FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P.; 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, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000001>
- BARBOSA JÚNIOR, L. B. Integração lavoura-pecuária como alternativa sustentável de recuperação de pastagens degradadas. In: **Congresso Internacional das Ciências Agrárias COINTER - PDVAgro**, v. 2, 2017. <https://doi.org/10.31692/2526-7701.IICOINTERPDVAGRO.2017.00094>
- BARBOSA, F. A.; COSTA, P. M.; ANDRADE, V. J.; MAIA FILHO, G. H. B.; MACIEL, I. C. F.; LOPES, S. Q. Avaliação econômica e produtiva dos sistemas integrados de lavoura-pecuária-floresta. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 7, n. 1, p. 151-165, 2015. <https://periodicos.ufmg.br/index.php/ccaufmg/article/view/2847>
- BENTO, V. A.; GOUVEIA, C. M.; DACAMARA, C. C.; LIBONATI, R.; TRIGO, I. F. The roles of NDVI and Land Surface Temperature when using the Vegetation Health Index over dry regions. **Global and Planetary Change**, v. 190, p. 1-11, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2020.103198>
- BERNARDINO, F. S.; GARCIA, R. Sistemas silvipastoris. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 60, p. 77-87, 2009. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/37617/1/Sistema-silvipastoris.pdf>

BERTONI, J. C.; OLIVEIRA, P. P. A.; CORSI, M.; SANTOS, P. M. Forage yield and nutritive value of warm-season grasses under nitrogen fertilization and irrigation. **Agricultural Water Management**, v. 192, p. 217-225, 2017.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo São Paulo, **Ícone**, v. 10, p. 355, 2017.

BOBUL'SKÁ, L.; ESPÍNDOLA, S. P.; COELHO, M. A.; FERREIRA, A. S. Impact of land use on soil function and bacterial community in the Brazilian savanna. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 93 p., 2021. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202120201906>

BOBUL'SKÁ, L.; VOJTKOVÁ, H.; KOVÁČIK, P.; KUBIŠ, J. Soil microbial community response to biochar addition in a temperate soil under field conditions. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 306, n. 107189, 2021.

BONETTI J. A., ANGHINONI I., GUBIANI P. I., CEGAGNO D., MORAES M.T. Impact of a long-term crop-livestock system on the physical and hydraulic properties of an Oxisol. **Soil Tillage Res.**, 186: 280-291. 2019 <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.11.003>

BONETTI J. A., ANGHINONI I., MORAES M. T., FINK J.R. Resilience of soils with different texture, mineralogy and organic matter under long-term conservation systems. **Soil tillage res.** v. 174, p. 104-112, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.06.008>

BONETTI J.A. Atributos físicos, hídricos e biológicos de solo e de planta em sistemas integrados de produção agropecuária. **Tese**, Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 137p., 2017. <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/158963>

BONFIM, J. A., VASCONCELLOS, R. L. F., STÜRMER, S. L., CARDOSO, E. J. B. N. Arbuscular mycorrhizal fungi in the Brazilian Atlantic Forest: A gradient of environmental restoration. **Applied Soil Ecology**, v. 71, p. 7–14, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2013.04.005>

BONFIM, V. R. C.; VILELA, L.; MACEDO, M. C. M.; RESENDE, A. V.; MOREIRA, J. A. A.; MARCHÃO, R. L. Integrated crop-livestock-forestry systems in the Brazilian Cerrado region. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 10, p. 1235-1240, 2013.

BORDOLOI, R.; DAS, B.; YAM, G.; PANDEY, P. K.; TRIPATHI, O. P. Modeling of water holding capacity using readily available soil characteristics. **Agricultural Research**, v. 8, p. 347-355, 2019. <https://doi.org/10.1007/s40003-018-0376-9>

BORGES, W. L. B.; CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A.; Impact of crop-livestock-forest integration on soil quality. **Agroforestry Systems**, v. 93, p. 2111-2119, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0329-0>

BROGNA, D.; DUFRÊNE, M.; MICHEZ, A.; LATLI, A.; JACOBS, S.; VINCKE, C.; DENDONCKER N. Forest cover correlates with good biological water quality. Insights from a regional study (Wallonia, Belgium). **Journal of Environmental Management**, v. 211, p. 9-21, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.01.017>

BROWN G. G., NIVA C. C., ZAGATTO M. R. G., FERREIRA S. A., NADOLNY H. S., CARDOSO G. B. X., SANTOS A., MARTINEZ G. A., PASINI A., BARTZ M. L. C., SAUTTER K. D., THOMAZINI M. J., BARETTA D., SILVA E., ANTONIOLLI Z. I., DECAËNS T., LAVELLE P. M., SOUSA J. P., CARVALHO F. **Biodiversidade da fauna do solo e sua contribuição para os serviços ambientais**. In: Parron LM, Garcia JR, Oliveira EB, Brown GG, Prado RB, editores. Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do bioma Mata Atlântica. Brasília, DF: Embrapa, p. 122-54. 2015 <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1024236>

BUSTAMANTE, M. M. C., et al. Capítulo 3: **Tendências e impactos dos vetores de degradação e restauração da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos**. In: JOLY, C. A., et al. (Eds.), 1º Diagnóstico Brasileiro de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos. Editora Cubo. 2019. 351p. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1112421>

CALAÇA, F. J. S., BUSTAMANTE, M. M. C. Richness of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota) along a vegetation gradient of Brazilian Cerrado: Responses to seasonality, soil types, and plant communities. **Mycological Progress**, v. 21, n. 27, 2022. <https://doi.org/10.1007/s11557-022-01785-1>

CARMONA F. D. C., GUSTAVO L., DENARDIN D. O., MARTINS A. P., ANGHINONI, I., CARVALHO P. C. F. Sistemas integrados de produção agropecuária em terras baixas: a integração lavoura-pecuária como o caminho da intensificação sustentável da lavoura arrozeira. **Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre-RS. p. 1-164, 2018 <https://www.ufrgs.br/gpep/wp-content/uploads/2020/09/Boletim-T%C3%A9cnico-Sistemas-Integrados-em-Terras-Baixas.pdf>

CARVALHO, F; CONFESSOR, J. G.; RODRIGUES, S. C. Utilização de simulador de chuvas para determinação do valor CN e abstração inicial na cultura do café em ambiente de cerrado brasileiro. **Physis Terrae**, v. 2, n. 2, p. 101-1206, 2020. <https://doi.org/10.21814/physisterrae.3083>

CARVALHO, P.C.F.; RIBEIRO FILHO, H.M.N.; POLI, C.H.E.C. I. Importância da estrutura da pastagem na ingestão e seleção de dietas pelo animal em pastejo In: MATTOS, Wilson Roberto Soares. (Org.). **Anais da XXXVIII Reunião anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia**. Piracicaba, v. 1, p. 853-871, 2001. <https://www.bibliotecaagptea.org.br/zootecnia/forragens/artigos/IMPORTANCIA%20DA%20ESTRUTURA%20DA%20PASTAGEM%20NA%20INGESTAO%20E%20SELECAO%20DE%20DIETAS%20PELO%20ANIMAL%20EM%20PASTEJO.pdf>

CASTRO DIAS, E.; SILVA, R. F.; OLIVEIRA, G. M.; SANTOS, M. V.; MENDES, E. D. Economic viability of integrated crop-livestock systems in the Brazilian Cerrado. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 58, n. 2, 2020.

CHAVES, A. K. de L.; TONUCCI, R. G.; POMPEU, R. C. F. F.; BOMFIM, M. A. D.; PEREIRA, P. L.; SANTOS, V. O. dos; FONTINELE, R. G. Sistemas agrossilvipastoris associados à modelagem nutricional podem minimizar os impactos da pecuária no bioma Caatinga. **Pubvet**, v. 15, n. 10, 2021. <https://doi.org/10.31533/pubvet.v15n10a936.1-10>

COLETTI, A. J. Cultivo de milho consorciado com capim-piatã em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta. 66 f. **Tese** (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual

Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2016.  
[https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UNSP\\_8f11142580f7ac1fe5bcadeb5449d85d](https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UNSP_8f11142580f7ac1fe5bcadeb5449d85d)

COLMAN RIBELATTO, P. J.; MARQUES GENU, A.; CAMPOS LUSTOSA, S. B.; POTT, C. A. Atributos químicos do solo e produção de *Urochloa brizantha* cv. Marandu. **Investig. Agrar.**, v. 21, n. 2, p. 108-116, 2019.  
<https://doi.org/10.18004/investig.agrar.2019.diciembre.108-116>

**COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB.** Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos: Safra 2024/25 – Terceiro Levantamento. Brasília: Conab, 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/>

CONFESSOR, J. G.; SILVA, L. L.; ARAÚJO, P. M. S. Avaliação das Perdas de Água e Solo em Pastagem Inserida em Ambiente de Cerrado Brasileiro sob Chuva Simulada. **Sociedade & Natureza**, v. 34, n. e65618, 2022. <https://doi.org/10.14393/SN-v34-2022-65618>

CORDEIRO, L. A. M.; VILELA, L.; MARCHÃO, R. L.; KLUTHCOUSKI, J.; MARTHA JÚNIOR, G. B. Integração lavoura-pecuária e integração lavoura-pecuária-floresta: estratégias para intensificação sustentável do uso do solo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 32, n. 1 e 2, p. 15-53, 2015.  
<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1039619>

CRUZ, L. N.; HERREROS, M. M. A. G.; VILARINHO, C. C.; DEMETRIO NETO, E. M.; MARTINS, G. C. Desenvolvimento socioeconômico na região de Matopiba, Brasil. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, p. 12538-12556, 2019.  
<https://doi.org/10.34117/bjdv5n8-093>

DAS, T.K., SAHARAWAT, Y. S., RANJAN BHATTACHARYYA, SUDHISHRI, S., BANDYOPADHYAY, K. K., SHARMA, A. R., JAT, M. L. Conservation agriculture effects on crop and water productivity, profitability and soil organic carbon accumulation under a maize-wheat cropping system in the North-western Indo-Gangetic Plains. **Field Crops Research**, v. 215, p. 222-231, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.10.021>

DE GRAAFF, M. A.; HORNSLEIN, N.; THROOP, H. L.; KARDOL, P.; VAN DIEPEN, L. T. A. Effects of agricultural intensification on soil biodiversity and implications for ecosystem functioning: A meta-analysis. **Advances in Agronomy**, p. 1–44, 2019.  
<https://doi.org/10.1016/bs.agron.2019.01.001>

DURU, M.; SARTHOU, J. P.; THEROND, O. A framework for the co-design of farming systems based on biodiversity. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 42, n. 1, p. 1-14, 2022.

**FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations.** The state of food security and nutrition in the world in 2023. 2023. Disponível em: <https://www.fao.org/3/cc3017en/online/state-food-security-and-nutrition-2023/food-securitynutrition-indicators.html>

FRANÇOSO, M. F.; BELDERRAIN, M. C. N. Multi-criteria decision analysis applied to the selection of agricultural machinery. **Operational Research**, v. 22, p. 123-145, 2022.

FRANÇOZO, R. V.; BELDERRAIN, M. C. N. A problem structuring method framework for value-focused thinking. **EURO Journal on Decision Processes**, v. 10, p. 100014, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ejdp.2022.100014>

GOMES, A. R. C., ALVES, J. B., SILVA, E. M., GOMES, M. R. S., GOMES, C. R. S. Estudo da Relação entre a Variabilidade dos Índices de Vegetação e Temperatura da Região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 34, n. 3, p. 359-368, 2019. <https://doi.org/10.1590/0102-7786343051>

GUBIANE, P. I., PÉRTILE, P., REICHERT, J. M. Relationship of precompression stress with elasticity and plasticity indexes from uniaxial cyclic loading test. **Soil and Tillage Research**, v. 180, p. 29-37, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.02.004>

HAN, F.; GUO, R.; HUSSAIN, S.; GUO, S.; CAI, T.; ZHANG, P.; JIA, Z.; NASEER, M. A.; SAQIB, M.; CHEN, X.; REN, X. Rotation of planting strips and reduction in nitrogen fertilizer application can reduce nitrogen loss and optimize its balance in maize-peanut intercropping. **European Journal of Agronomy**, v. 143, p. 126707, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126707>

HAN, J. Advancements in Data Mining Techniques for Big Data. **Journal of Big Data**, v. 10, n. 1, p. 1-20, 2023.

HAN, J.; KAMBER, M.; PEI, J. **Data Mining: Concepts and Techniques**. 3. ed. Amsterdam: Elsevier, 2015. <https://myweb.sabanciuniv.edu/rdekhkarghani/files/2016/02/The-Morgan-Kaufmann-Series-in-Data-Management-Systems-Jiawei-Han-Micheline-Kamber-Jian-Pei-Data-Mining.-Concepts-and-Techniques-3rd-Edition-Morgan-Kaufmann-2011.pdf>

HEBB, C., SCHODERBEK, D., HERNANDEZ-RAMIREZ, G., HEWINS, H., CARLYLE, C. M., BARK, E. Soil physical quality varies among contrasting land uses in Northern Prairie regions. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 240, p. 14-23, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.02.008>

HOLTHUSEN, D., BRANDT, A. A., REICHERT, J. M., HORN, H. Soil porosity, permeability and static and dynamic strength parameters under native forest/grassland compared to no-tillage cropping. **Soil and Tillage Research**. v. 177, p. 113-124, 2018. ISSN: 0378-4290. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.12.003>  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.245>

HUNTER, M. C. et al. Agriculture in 2050: recalibrating targets for sustainable intensification. **Bioscience**, v. 67, n. 4, p. 386-391, 2017. <https://doi.org/10.1093/biosci/bix010>

JAT, M. L., GATHALA, M. K., CHOUDHARY, M., SHARMA, S., JAT, H. S., GUPTA, N., YADVINDER-SINGH. Chapter Three - Conservation agriculture for regenerating soil health and climate change mitigation in smallholder systems of South Asia. Editor(s): Donald L. Sparks, **Advances in Agronomy**, v. 181, p. 183-277, 2023. ISSN: 0065-2113, ISBN: 9780443192661. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2023.05.003>

Jl, L; TAN, W.; CHEN, X. Arbuscular mycorrhizal mycelial networks and glomalin-related soil protein increase soil aggregation in Calcaric Regosol under well-watered and drought stress conditions. **Soil and Tillage Research**, v. 185, p. 1-8, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.08.010>

KHWIDZHILI R.H., WORTH S. Romotion of sustainable agriculture by Mpumalang Agricultural extension services: perspective of public extension pratitioners. **South African Journal of Agricultural Extension**, v. 48, n. 1, p. 1-16, 2020. <https://doi.org/10.17159/2413-3221/2020/v48n1a522>

LAL, R. Soil organic matter and water retention. **Agronomy Journal**, v. 112, n. 5, p. 3265-3277, 2020. <https://doi.org/10.1002/agj2.20282>

LAURENTI, N. et al. Variabilidade espacial de atributos do solo e da vegetação em sistemas integrados de produção. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 28, p. e280481, 2024. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v28n10e280481>

LEISER, A. W., ZANÃO JÚNIOR, L. A., PINTO, J. DE S., HUBNER, V., MACHADO, D. A., ZANÃO, M. P. C., BASSEGIO, D. Adubação nitrogenada em cobertura na cultura da brachiaria brizantha cv. Marandu. **Revista Caribeña De Ciencias Sociales**, v. 13, n. 5, p. e3901, 2024. <https://doi.org/10.55905/rcssv13n5-004>

LEITE, F. F. G. D.; NÓBREGA, G. N.; BAUMGÄRTNER, L. C.; ALECRIM, F. B.; SILVEIRA, J. G.; CORDEIRO, R. C.; RODRIGUES, R. A. R. Greenhouse gas emissions and carbon sequestration associated with Integrated Crop–Livestock–Forestry (ICLF) systems. **Environmental Reviews**, 2023. <https://doi.org/10.1139/er-2022-0095>

LIMA, T. P., L. C. DE J. FRANÇA, FERRAZ, F; T., SILVA, J. B. L., FERREIRA, M. E., SILVA, A. R., SILVA, D. P. Correlação entre as transformações da cobertura e uso da terra com variáveis climáticas e ambientais na região do Matopiba, Brasil. **Revista do departamento de geografia**, v. 43, n. e202077, 2023. <https://doi.org/10.11606/eISSN.2236-2878.rdg.2023.202077>

LIU, X.; MENG, L.; YIN, T.; WANG, X.; ZHANG, S.; CHENG, Z.; OGUNDEJI, A. O.; LI, S. Maize/soybean intercrop over time has higher yield stability relative to matched monoculture under different nitrogen-application rates. **Field Crops Research**, v. 301, p. 109015, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.109015>

LULU, J.; MAGALHÃES, C. A. S.; ZOLIN, C. A. **Microclima em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta com foco em gado de corte no norte de Mato Grosso**. In: FARIAS NETO, A. L. (Org.). Embrapa Agrossilvipastoril: primeiras contribuições para o desenvolvimento de uma Agropecuária Sustentável. – Brasília: Embrapa. p. 237-241, 2019. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1103832>

MAGALHÃES, C. A. S.; PEDREIRA, B. C.; TONINI, H.; FARIAS NETO, A. L. Crop, livestock and forestry performance assessment under different production systems in the north of Mato Grosso, Brazil. **Agroforestry Systems**, v. 93, p. 2085-2096, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0311-x>

MARCHAO, R; VILELA, L; PALUDO, A; GUIMARAES, R. Impacto do pisoteio animal na compactação do solo sob integração lavoura-pecuária no oeste baiano. Embrapa-Planaltina, **Comunicado Técnico 163**, DF. ISSN: 1517-1469, 2009. <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/697303/impacto-do-pisoteio-animal-na-compactacao-do-solo-sob-integracao-lavoura-pecuaria-no-oeste-baiano>

MARTUSCELLO, J; JANK, L; CONTIJO, M; LAURA, V; CUNHA, D. R. Produção de gramíneas do gênero *Brachiaria* sob níveis de sombreamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n.7, p. 1183-1190, 2009. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009000700004>

MASCHERONI, J. D. C. Características estruturais do dossel forrageiro e acúmulo de forragem de *Brachiaria brizantha* cv. Piatã submetido a regime de sombra em sistemas de integração lavoura pecuária floresta. 91 p. **Dissertação** (Mestrado em Ciências). – Escola Superior de Agricultura “Luiz Queiroz”, Piracicaba. 2015  
<https://repositorio.usp.br/item/002686752>

OLIVEIRA, T. K. Sistema agrossilvipastoril com eucalipto e braquiária sob diferentes arranjos estruturais em área de Cerrado. 164 f. **Tese** (Doutorado em Engenharia Florestal: Florestas de Produção) - Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2005  
<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/501487>

**ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU)**, 2006. Millennium Development Goals. Disponível em: <http://www.un.org/millenniumgoals>

PACIULLO, D. S. C.; CARVALHO, C. A. B.; AROEIRA, L. J. M.; MORENZ, M. J. F.; LOPES, F. C. F.; ROSSIELO, R. O. P. Morfofisiologia e valor nutritivo do capim-braquiária sob sombreamento natural e a sol pleno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 573-579, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007000400016>

PAUWELS, R.; GRAEFE, J.; BITTERLICH, M. An arbuscular mycorrhizal fungus alters soil water retention and hydraulic conductivity in a soil texture specific way. **Mycorrhiza**, v. 33, p. 165-179, 2023. <https://doi.org/10.1007/s00572-023-01106-8>

REIS, L.C.; SILVA, C.M.S.; BEZERRA, B.G.; MUTTI, P.R.; SPYRIDES, M.H.C.; SILVA, P.E. Analysis of Climate Extreme Indices in the MATOPIBA Region, Brazil. **Pure and Applied Geophysics**, v. 177, p. 4457-4478, 2020.  
<https://doi.org/10.1007/s00024-020-02474-4>

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação**. Editora SBCS, Viçosa, 1999. 359 p.

RIBEIRO, F. P. et al. Litter dynamics in Eucalyptus and native forest in the Brazilian Cerrado. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, p. 1-15, 2018.  
<https://doi.org/10.5539/jas.v10n11p29>

RIBEIRO, F. P.; PULROLNIK, K.; VILELA, L.; GATTO, A. Deposição, decomposição e conteúdo de nutrientes de serapilheira em área de integração lavoura-pecuária-floresta na

região do Cerrado. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 42, 2022.  
<https://doi.org/10.4336/2022.pfb.42e201902072>

ROBINSON, J. M. Functional identity and diversity of animals predict ecosystem functioning better than species-based indices. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 285, n. 1870, p. 20172620, 2018.  
<https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rspb.2014.2620>

RODRIGUES, R. A. R.; FERREIRA, I. G. M.; SILVEIRA, J. G.; SILVA, J. J. N.; SANTOS, F. M.; CONCEIÇÃO, M. C. G. **Crop-Livestock-Forest Integration Systems as a Sustainable Production Strategy in Brazil**. In: Søndergaard, N., de Sá, C.D., Barros-Platiau, A.F. (eds) Sustainability Challenges of Brazilian Agriculture. **Environment & Policy**, v. 64. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-29853-0\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-031-29853-0_9)

SANTOS, A. F. A., CARNEIRO, A. C. P., MARTINEZ, D. T., CALDEIRA, S. F. Capacidade de Retenção Hídrica do Estoque de Serapilheira de Eucalipto. **Floresta e Ambiente**, v. 24, n. e20150303, 2017. ISSN: 2179-8087. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.030315>

SANTOS, M; FONSECA, D; PIMENTEL, R; SILVA, G; GOMES, V; SILVA, S. Número e peso de perfilhos no pasto de capim-braquiária sob lotação contínua. **Acta Scientiarum Animal Sciences**. Maringá, v. 33, n. 2, p. 131-136, 2011.  
<https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v33i2.10438>

SEKARAN, U.; LAI, L.; USSIRI, D. A. N.; KUMAR, S.; CLAY, S. Role of integrated crop-livestock systems in improving agriculture production and addressing food security – A review. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 5, 2021.  
<https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100190>

SHEN, W.; ZHANG, X.; DAI, Y.; WANG, M.; LI, M. Effects of biochar addition on soil microbial biomass and bacterial community composition in a Chinese fir plantation. **European Journal of Soil Biology**, v. 84, p. 1-8, 2018.

SILVA, C. S., DALLACORT, R., ZOLIN, C. A., CARVALHO, M. A. C., MAGALHÃES, C. A. S. Variabilidade microclimática em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no ecótono cerrado/amazônia. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 27, n. 1, p. 303-325, 2020.  
<https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/14274>

SILVA, P. L. F.; OLIVEIRA, F. P.; MARTINS, A. F.; PEREIRA, W. E.; SANTOS, T. E. D.; AMARAL, A. J. Caracterização físico-hídrica de solos arenosos através da curva de retenção de água, índice S e distribuição de poros por tamanho. **Agrarian**, v. 12, n. 50, 2020.  
<https://doi.org/10.30612/agrarian.v13i50.10993>

SILVA, P. L. F.; OLIVEIRA, F. P.; TAVARES, D. D.; NÓBREGA, C. C.; AMARAL, A. J. Water availability in a planosol under integrated crop-livestock-forestry system in the agreste region of Paraíba, Brazil. **Rev. Caatinga**, v. 32, n. 2, 2019. <https://doi.org/10.1590/1983-21252019v32n218rc>

SOUZA FILHO, W. et al. Mitigation of enteric methane emissions through pasture management in integrated crop-livestock systems: Trade-offs between animal performance

and environmental impacts. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 213, p. 968–975, 2019.

SOUZA, A. B. A dimensão ética da sustentabilidade. 146 f. **Dissertação** (Mestrado) - Curso de Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2020. <https://ri.ufs.br/handle/riufs/14043>

SOUZA, R. F. de. Impactos das Mudanças Climáticas na Agricultura Brasileira. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 23, p. 45-60, 2023.

VALANI, G. P. Soil physical quality in integrated crop-livestock-forest systems. 2024. **Tese** (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. <https://doi.org/10.11606/T.11.2024.tde-05112024-153823>

VIEIRA JUNIOR, N. A. Temperature, thermal comfort, and animal ingestion behavior in a silvopastoral system. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. 1, p. 403-416, 2019. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2019v40n1p403>

VIZZOTTO, V.; MARCHEZAN, E.; SEGABINAZZI, T. Efeito do pisoteio bovino em algumas propriedades físicas do solo de várzea. **Ciências do Solo/Cienc. Rural**, v. 30, n. 6, 2000. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782000000600007>

WERNER, W. J.; SANDERMAN, J.; MELILLO, J. M. Decreased soil organic matter in a long-term soil warming experiment lowers soil water holding capacity and affects soil thermal and hydrological buffering, **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v. 125, n. 4, 2020. <https://doi.org/10.1029/2019JG005158>

WIESMEIER, M., POEPLAU, C., SIERRA, C. A., MAIER, H., FRÜHAUF, C., HÜBNER, R., KÜHNEL, A., SPÖRLEIN, P., GEUß, U., HANGEN, E., SCHILLING, B., VON LÜTZOW, M., & KÖGEL-KNABNER, I. Projected loss of soil organic carbon in temperate agricultural soils in the 21st century: effects of climate change and carbon input trends. **Scientific Reports**, v. 6, n. 1, 2016. <https://doi.org/10.1038/srep32525>

YANG, Y.; ZHANG, X.; LI, M.; WANG, M.; SHEN, W. The Role of Osteopontin in Microglia Biology. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, n. 8, p. 4025, 2022. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9027630/>

YOSHIDA, K.; MATSUOKA, M. Mechanisms and physiological implications of cooperative gating of ion channels. **Physiological Reviews**, v. 101, n. 3, p. 1139-1174, 2021. <https://journals.physiology.org/doi/full/10.1152/physrev.00022.2021>

ZAPATA, M. The Interplay between Dysregulated Metabolism and Epigenetics in Cancer. **Frontiers in Oncology**, v. 11, p. 1234, 2021. [www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10296273/](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10296273/)

ZHANG, Y.; WANG, K.; WANG, J.; LIU, C.; SHANGGUAN, Z. Changes in soil water holding capacity and water availability following vegetation restoration on the Chinese Loess Plateau. **Sci rep**, v. 11, n. 9692, 2021. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-88914-0>

## APÊNDICE A – Caracterização química e física do solo

Caracterização química e física do solo, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, nos sistemas Floresta, Lavoura, Pasto reformado, Integração Lavoura-Pecuária, Integração Lavoura-Pecuária-Floresta e Pasto não manejado.

Profundidade		0-10 cm					
Sistemas							
	Unidade	Floresta	Lavoura	Pasto reformado	Integração Lavoura-Pecuária	Integração Lavoura-Pecuária-Floresta	Pasto não manejado
Análises químicas							
pH H <sub>2</sub> O	---	5,65	5,67	5,84	5,68	5,58	5,83
Al		0,10	0,10	0,08	0,10	0,08	0,10
Ca		1,98	1,95	2,52	2,00	2,12	1,72
Mg		0,50	0,45	0,48	0,45	0,53	0,55
H + Al	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	2,58	2,80	2,72	2,63	2,89	2,80
SB		2,68	2,50	3,16	2,60	2,82	2,40
t		2,78	2,60	3,24	2,70	2,90	2,50
T		5,27	5,30	5,88	5,23	5,75	5,20
K		73,17	38,50	49,60	56,17	65,17	52,33
P	mg dm <sup>-3</sup>	17,03	13,43	24,02	10,23	35,10	15,22
P <sub>rem</sub>		23,80	23,93	24,80	24,63	26,70	24,30
V	%	50,18	46,30	51,88	49,25	49,08	44,88
m		3,82	4,15	3,56	4,30	3,05	5,63
M. O.	dag kg <sup>-1</sup>	2,33	2,30	2,60	2,43	2,78	2,47
C org		1,35	1,33	1,50	1,42	1,62	1,42
Análise física							
Areia		75,00	76,00	72,00	73,00	71,00	74,00
Silte	%	13,00	13,00	14,00	13,00	12,00	14,00
Argila		12,00	11,00	14,00	14,00	17,00	12,00
Classe textural	---	Franco arenosa	Franco arenosa	Franco arenosa	Franco arenosa	Franco arenosa	Franco arenosa
Profundidade		10-20 cm					
Análises químicas							
pH H <sub>2</sub> O	---	5,55	5,53	5,80	5,55	5,60	5,77
Al		0,10	0,12	0,08	0,13	0,10	0,12
Ca		1,28	1,13	1,78	1,20	1,65	0,78
Mg	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,33	0,28	0,32	0,33	0,43	0,25
H + Al		2,60	2,70	2,60	2,53	2,67	2,67
SB		1,70	1,52	2,20	1,65	2,20	1,15

<b>t</b>		1,80	1,63	2,28	1,78	2,30	1,27
<b>T</b>		4,30	4,22	4,80	4,18	4,87	3,82
<b>K</b>		39,67	27,33	36,40	35,67	45,83	33,33
<b>P</b>	mg dm <sup>-3</sup>	7,32	7,35	7,54	4,73	33,03	4,98
<b>P_rem</b>		22,08	19,95	22,28	21,43	25,15	20,78
<b>V</b>		39,68	35,05	43,74	39,10	44,47	29,40
<b>m</b>	%	5,65	7,70	5,36	9,00	5,25	11,02
<b>M. O.</b>		1,73	1,63	1,90	1,72	2,05	1,58
<b>C org</b>	dag kg <sup>-1</sup>	1,00	0,93	1,10	0,98	1,18	0,92
<b>Análise física</b>							
<b>Areia</b>		76,00	76,00	73,00	74,00	73,00	77,00
<b>Silte</b>	%	12,00	11,00	13,00	12,00	11,00	12,00
<b>Argila</b>		12,00	13,00	14,00	14,00	16,00	11,00
<b>Classe</b>		Franco	Franco	Franco	Franco	Franco	Franco
<b>textural</b>	---	arenosa	arenosa	arenosa	arenosa	arenosa	arenosa