

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

**Desempenho agronômico, produção e qualidade da silagem do  
milho, *Brachiaria ruziziensis* cv. BRS Integra e *Cajanus cajan*  
cv. BRS Guatã**

Autor: Guilherme Henrique Salgado  
Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dra. Kátia Aparecida de Pinho Costa  
Coorientadores: Prof. Dr. Adriano Carvalho Costa  
Prof<sup>a</sup>. Dra. Andréia Santos Cezario

Rio Verde - GO  
Julho - 2026

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

**Desempenho agronômico, produção e qualidade da silagem do  
milho, *Brachiaria ruziziensis* cv. BRS Integra e *Cajanus cajan*  
cv. BRS Guatã**

Autor: Guilherme Henrique Salgado  
Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dra. Kátia Aparecida de Pinho Costa  
Coorientadores: Prof. Dr. Adriano Carvalho Costa  
Prof<sup>a</sup>. Dra. Andréia Santos Cezario

Dissertação apresentada como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Zootecnia, no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Campus Rio Verde.

Rio Verde - GO  
Julho - 2026

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do  
Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano -  
SIBi**

S164d

Salgado, Guilherme Henrique

Desempenho agronômico, produção e qualidade da silagem do milho, *Brachiaria ruziziensis* cv. BRS Integra e *Cajanus cajan* cv. BRS Guatã / Guilherme Henrique Salgado. Rio Verde 2026.

79f. il.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Kátia Aparecida de Pinho Costa.

Coorientador: Prof. Dr. Adriano Carvalho Costa.

Dissertação (Mestre) - Instituto Federal Goiano, curso de 0231024 - Mestrado em Zootecnia - Rio Verde (Campus Rio Verde).

1. Análise econômica. 2. Perfil fermentativo. 3. Sustentabilidade. 4. Valor nutritivo. 5. *Zea mays*. I. Título.



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

Ata nº 58/2026 - DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO**  
**ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO**

|                                   |                                                                                                                                                                 |                             |
|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Unidade do IF Goiano:             | Campus Rio Verde                                                                                                                                                |                             |
| Programa de Pós-Graduação :       | Zootecnia                                                                                                                                                       |                             |
| Defesa de:                        | Dissertação                                                                                                                                                     | Defesa de número:178        |
| Data: 10/07/2026                  | Hora de início: 14:00h                                                                                                                                          | Hora de encerramento: 17:00 |
| Matrícula do discente:            | 2024202310240004                                                                                                                                                |                             |
| Nome do discente:                 | Guilherme Henrique Salgado                                                                                                                                      |                             |
| Título do trabalho:               | Desempenho agrônômico, produção e qualidade da silagem do milho, <i>Brachiaria ruziziensis</i> cv. BRS Integra e <i>Cajanus cajan</i> cv. BRS Guatã.            |                             |
| Orientador:                       | Prof. Dra. Kátia Aparecida de Pinho Costa                                                                                                                       |                             |
| Área de concentração:             | Zootecnia/Recursos Pesqueiros                                                                                                                                   |                             |
| Linha de Pesquisa:                | Sustentabilidade e produção de ruminantes                                                                                                                       |                             |
| Projeto de pesquisa de vinculação | Sistemas Integrados de Produção: Desempenho agrônômico e qualidade da silagem de milho, <i>Brachiaria ruziziensis</i> cv. BRS Integra e feijão guandu cv. Guatã |                             |
| Titulação:                        | Mestre em Zootecnia                                                                                                                                             |                             |

Nesta data, reuniram-se os componentes da Banca Examinadora, Prof. Dra. Kátia Aparecida de Pinho Costa (Orientadora), Prof. Dr. Eduardo da Costa Severiano (Avaliador externo), Prof. Dra. Andreia

Santos Cezário e Dra. Luciana Maria da Silva (Avaliadora interna), sob a presidência do primeiro, em sessão pública realizada na sala de videoconferência da DPGPI nas instalações do IF Goiano Campus Rio Verde, para procederem a avaliação da defesa de dissertação, em nível de Mestrado, de autoria de Guilherme Henrique Salgado, discente do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia do Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde. A sessão foi aberta pelo presidente da Banca Examinadora, Prof. Dra. Kátia Aparecida de Pinho Costa, que fez a apresentação formal dos membros da Banca. A palavra, a seguir, foi concedida ao autor da dissertação para, em 40 min., proceder à apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da banca arguiu o examinado, tendo-se adotado o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se a avaliação da defesa. Tendo-se em vista as normas que regulamentam o Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, e procedidas às correções recomendadas, a dissertação foi **APROVADA**, considerando-se integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **MESTRE EM ZOOTECNIA**. A conclusão do curso dar-se-á quando da entrega na secretaria do PPGZ da versão definitiva da dissertação, com as devidas correções sugeridas pela banca examinadora. Assim sendo, esta ata perderá a validade se não cumprida essa condição, em até **60 (sessenta) dias** da sua ocorrência. A Banca Examinadora recomendou a publicação dos artigos científicos oriundos dessa Dissertação em periódicos de circulação nacional e/ou internacional, após procedida as modificações sugeridas. Cumpridas as formalidades da pauta, a presidência da mesa encerrou esta sessão de defesa de dissertação de mestrado, e foi lavrada a presente Ata, que, após lida e achada conforme, será assinada pelos membros da Banca Examinadora.

#### Decisão da banca: Aprovada

Esta defesa é parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Zootecnia.

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

Documento assinado eletronicamente por:

- **Katia Aparecida de Pinho Costa**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 13/07/2026 10:32:22.
- **Eduardo da Costa Severiano**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 13/07/2026 11:09:49.
- **Andreia Santos Cezario**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 13/07/2026 11:37:43.
- **Luciana Maria da Silva**, 2024202343660001 - Discente, em 13/07/2026 11:55:20.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 13/07/2026. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

**Código Verificador:** 839322

**Código de Autenticação:** e876214527



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Rio Verde

Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970

(64) 3624-1000

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

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

**Identificação da Produção Técnico-Científica**

- |                                                                      |                                                         |
|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Tese                                        | <input type="checkbox"/> Artigo Científico              |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dissertação                      | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro              |
| <input type="checkbox"/> Monografia – Especialização                 | <input type="checkbox"/> Livro                          |
| <input type="checkbox"/> TCC - Graduação                             | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ |                                                         |

Nome Completo do Autor: Guilherme Henrique Salgado

Matrícula: 2024202310240004

Título do Trabalho: Desempenho agrônomo, produção e qualidade da silagem do milho, *Brachiaria ruziziensis* cv. BRS Integra e *Cajanus cajan* cv. BRS Guatã.

**Restrições de Acesso ao Documento**

Documento confidencial: ☒ Não ☐ Sim, justifique: \_\_\_\_\_

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 11/09/2026

O documento está sujeito a registro de patente? ☐ Sim ☒ Não

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

**DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA**

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

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

Rio Verde – GO  
Local

11/09/2026  
Data

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** **GUILHERME HENRIQUE SALGADO**  
Data: 11/09/2026 11:55:18-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** **KATIA APARECIDA DE PINHO COSTA**  
Data: 11/09/2026 09:45:18-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura da orientadora

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por ser meu sustento, minha força e meu propósito durante toda essa jornada.

À minha família, por sempre estar comigo, acolhendo-me de braços abertos e incentivando minhas escolhas. Em especial, à minha mãe, Rosélia Antônia Ferreira, ao meu pai, André Luiz Salgado, e à minha irmã, Gabriela Heloísa Salgado, que sempre acreditaram em mim, incentivaram meus estudos e motivaram a seguir meus sonhos.

À minha orientadora Dra. Kátia Aparecida de Pinho Costa, pela paciência, dedicação e comprometimento com a minha formação. Sou profundamente grato por todos os ensinamentos compartilhados e pela orientação conduzida com excelência. O meu muito obrigado.

A toda a equipe do Laboratório de Forragicultura e Pastagens (LAFOPAS). A presença de cada um tornou essa jornada mais leve e a colaboração de todos foi indispensável para a execução deste trabalho. O meu sincero agradecimento.

Ao Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde e ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, pela oportunidade, pelo apoio e pela infraestrutura que possibilitaram o desenvolvimento deste projeto. Estendo meus agradecimentos a todos os professores que contribuíram para a minha formação acadêmica e profissional.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG), pela concessão da bolsa de estudos e pelo compromisso com o fortalecimento da ciência, da pesquisa e da educação.

A todas as pessoas que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho, deixo o meu mais sincero agradecimento.

## **BIOGRAFIA DO AUTOR**

Guilherme Henrique Salgado nasceu em 11 de janeiro de 2001, em Goiânia, Goiás, Brasil. É filho de André Luiz Salgado e Rosélia Antônia Ferreira.

Ingressou no curso de Zootecnia do Instituto Federal Goiano – Campus Morrinhos, e desenvolveu atividades de ensino, pesquisa e extensão. Durante a graduação, atuou como bolsista de Iniciação Científica, com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e do Instituto Federal Goiano, participando de projetos voltados à produção animal e sistemas sustentáveis. Também foi bolsista de extensão universitária, participou de projetos de ensino e exerceu monitoria na disciplina de Bromatologia.

Concluiu a graduação em Zootecnia em 2024 pelo Instituto Federal Goiano – Campus Morrinhos. Ao longo de sua formação acadêmica, participou de eventos científicos, atividades de capacitação e projetos relacionados às áreas de forragicultura, nutrição animal e sistemas integrados de produção agropecuária.

Em 2024, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, em nível de mestrado, atuando na linha de pesquisa voltada à produção sustentável de ruminantes. Desenvolveu pesquisas com enfoque em forragicultura, pastagens, sistemas de integrados e produção de silagem, buscando contribuir para o desenvolvimento de sistemas produtivos mais eficientes e sustentáveis. É bolsista da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG).

Atualmente, dedica-se ao desenvolvimento de pesquisas na área de produção animal sustentável, com ênfase no manejo de forrageiras, integração de sistemas produtivos e estratégias para aumento da eficiência dos sistemas de produção de ruminantes.

## ÍNDICE

### ÍNDICE DE TABELAS

Páginas

|                                                                                                                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 1.</b> Características químicas de um Latossolo Vermelho Acriférico típico na profundidade de 0-20 cm antes da implantação da pesquisa na safrinha de 2025 e 2026.....                                    | 31 |
| <b>Tabela 2.</b> Proporção de material ensilado do milho, capim-integra e guatã em monocultivo e consorciado, no primeiro e segundo ano.....                                                                        | 35 |
| <b>Tabela 3.</b> Características bromatológicas do milho, capim-integra e guatã em monocultivo e consorciado, antes da ensilagem, nos dois anos de avaliação.....                                                   | 37 |
| <b>Tabela 4.</b> Altura de plantas, altura de inserção da primeira espiga do milho, no primeiro e segundo ano, independentemente do sistema de cultivo, avaliadas aos 30, 60 e 90 dias após a semeadura (DAS).....  | 40 |
| <b>Tabela 5.</b> Altura de plantas do capim-integra e guatã no primeiro e segundo ano, independentemente do sistema de cultivo, aos 30, 60 e 90 DAS.....                                                            | 43 |
| <b>Tabela 6.</b> Custo de produção (R\$ ha <sup>-1</sup> ) e produção de massa seca (kg ha <sup>-1</sup> ) da silagem de milho, capim-integra e guatã, em monocultivo e consorciado, em dois anos de avaliação..... | 56 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

Páginas

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1.</b> Área experimental durante a condução do experimento em Rio Verde, Goiás, Brasil.....                                                                                                                                                                                                                                  | 29 |
| <b>Figura 2.</b> Precipitação, temperatura máxima, mínima e média registradas durante o mês de janeiro de 2025 a junho de 2026 em Rio Verde, Goiás, Brasil.....                                                                                                                                                                        | 30 |
| <b>Figura 3.</b> Esquema dos tratamentos e disposição das parcelas para milho em monocultivo (a), capim-integra em monocultivo (b), guatã em monocultivo (c), milho consorciado com capim-integra (d), milho consorciado com guatã (e), capim-integra consorciado com guatã (f) e milho consorciado com capim-integra e guatã (g)..... | 33 |
| <b>Figura 4.</b> Diâmetro do colmo do milho em monocultivo e consorciado, aos 30 (a), 60 (b) e 90 (c) dias após a semeadura, médias de dois anos de avaliação.....                                                                                                                                                                     | 39 |
| <b>Figura 5.</b> Valores de clorofila do milho em monocultivo e consorciado aos 30 (a), 60 (b) e 90 (c) dias após a semeadura, médias de dois anos de avaliação.....                                                                                                                                                                   | 40 |
| <b>Figura 6.</b> Interação entre sistemas de cultivo e anos para tamanho da espiga (a) e número de fileiras de grãos (b) do milho em monocultivo e consorciado.....                                                                                                                                                                    | 41 |
| <b>Figura 7.</b> Valores de clorofila do capim-integra em monocultivo e consorciado, aos 30 (a), 60 (b) e 90 (c) dias após a semeadura, médias de dois anos de avaliação.....                                                                                                                                                          | 42 |
| <b>Figura 8.</b> Valores de clorofila do guatã em monocultivo e consorciado, aos 30 (a), 60 (b) e 90 (c) dias após a semeadura, médias de dois anos de avaliação.....                                                                                                                                                                  | 42 |
| <b>Figura 9.</b> Interação entre sistemas de cultivo e anos para produção de massa seca do milho, integra e guatã em monocultivo e consorciado.....                                                                                                                                                                                    | 44 |

|                                                                                                                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 10.</b> Interação entre sistemas de cultivo e anos para teor de matéria seca da silagem de milho, integra e guatã em monocultivo e consorciado.....                                          | 45 |
| <b>Figura 11.</b> pH (a), capacidade tampão (b) e N-NH <sub>3</sub> (c) da silagem de milho, integra e guatã, em monocultivo e consorciado, médias de dois anos de avaliação.....                      | 46 |
| <b>Figura 12.</b> Produção de efluentes (a) e perdas totais de matéria seca (b) da silagem de milho, integra e guatã em monocultivo e consorciado, médias de dois anos de avaliação.....               | 47 |
| <b>Figura 13.</b> Ácido láctico (a), acético (b), propiônico (c) e butírico (d) da silagem de milho, integra e guatã, em monocultivo e consorciado (médias de dois anos).....                          | 48 |
| <b>Figura 14.</b> Teores de proteína bruta (a) e matéria mineral (b) da silagem de milho, integra e guatã em monocultivo e consorciado (médias de dois anos).....                                      | 49 |
| <b>Figura 15.</b> Interação entre sistemas de cultivo e anos para teores de FDN (a) e FDA (b) da silagem de milho, integra e guatã em monocultivo e consorciado, nos dois anos de avaliação.....       | 50 |
| <b>Figura 16.</b> Interação entre sistemas de cultivo e anos para teores de lignina (a) e DIVMS (b) da silagem de milho, integra e guatã em monocultivo e consorciado, nos dois anos de avaliação..... | 51 |
| <b>Figura 17.</b> Teores de NDT (a) e extrato etéreo (b) da silagem de milho, integra e guatã, em monocultivo e consorciado (médias de dois anos).....                                                 | 52 |

**Figura 18.** Correlação de Pearson entre os parâmetros avaliados. Correlações positivas são representadas por fundos azuis, enquanto correlações negativas são mostradas com fundos verdes..... 53

**Figura 19.** Diagramas de dispersão bidimensionais da análise de componentes principais para o primeiro e segundo (a) e terceiro e quarto (b) componentes principais, mostrando os escores para 19 variáveis relacionadas a produção de massa seca, perfil fermentativo e valor nutritivo da silagem de milho, integra e guatã em monocultivo e consorciado..... 54

## LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

|                                    |                                                                |
|------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| %                                  | Porcentagem                                                    |
| °C                                 | Graus Celsius                                                  |
| ANOVA                              | Análise de variância                                           |
| AOAC                               | <i>Association of Official Analytical Chemists</i>             |
| cm                                 | Centímetro                                                     |
| cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> | Centimol de carga por decímetro cúbico de solo                 |
| CO <sub>2</sub>                    | Dióxido de carbono                                             |
| CTC                                | Capacidade de troca catiônica                                  |
| cv.                                | Cultivar                                                       |
| DAS                                | Dias após a semeadura                                          |
| DIVMS                              | Digestibilidade <i>in vitro</i> da matéria seca                |
| EE                                 | Extrato etéreo                                                 |
| FAO                                | <i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i> |
| FDA                                | Fibra em detergente ácido                                      |
| FDN                                | Fibra em detergente neutro                                     |
| FTE                                | <i>Fritted Trace Elements</i>                                  |
| g                                  | Grama                                                          |
| g kg <sup>-1</sup>                 | Gramas por quilograma                                          |
| ha                                 | Hectare                                                        |
| ILP                                | Integração lavoura-pecuária                                    |
| IVTD                               | <i>In vitro true digestibility</i>                             |
| kg                                 | Quilograma                                                     |
| kg ha <sup>-1</sup>                | Quilogramas por hectare                                        |
| L                                  | Litro                                                          |
| L ha <sup>-1</sup>                 | Litros por hectare                                             |
| m                                  | Metro                                                          |
| m <sup>2</sup>                     | Metro quadrado                                                 |
| mg dm <sup>-3</sup>                | Miligramas por decímetro cúbico                                |
| mL                                 | Mililitro                                                      |
| mm                                 | Milímetro                                                      |
| MM                                 | Matéria mineral                                                |
| MO                                 | Matéria orgânica                                               |
| MS                                 | Matéria seca                                                   |
| N <sub>2</sub>                     | Nitrogênio molecular                                           |

|                   |                                                              |
|-------------------|--------------------------------------------------------------|
| N <sub>2</sub> O  | Óxido nitroso                                                |
| NDT               | Nutrientes digestíveis totais                                |
| N-NH <sub>3</sub> | Nitrogênio amoniacal                                         |
| p                 | Probabilidade associada ao teste estatístico                 |
| PCA               | Análise de componentes principais                            |
| PB                | Proteína bruta                                               |
| pH                | Potencial hidrogeniônico                                     |
| PVC               | Policloreto de vinila                                        |
| R\$               | Real (moeda brasileira)                                      |
| SPAD              | <i>Soil Plant Analysis Development</i> (índice de clorofila) |

## RESUMO

SALGADO, GUILHERME HENRIQUE. Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde, julho de 2026. **Desempenho agrônômico, produção e qualidade da silagem do milho, *Brachiaria ruziziensis* cv. BRS Integra e *Cajanus cajan* cv. BRS Guatã.** Orientadora: Dr<sup>a</sup>. Kátia Aparecida de Pinho Costa, Coorientadores: Prof. Dr. Adriano Carvalho Costa; Prof<sup>a</sup>. Dra. Andreia Santos Cezario.

A produção agrícola atual enfrenta desafios complexos e urgentes relacionados à sustentabilidade ambiental, às mudanças climáticas e à segurança alimentar de uma população em crescimento. Neste contexto, objetivou-se elucidar como o sinergismo entre o milho, os novos cultivares de *Brachiaria ruziziensis* cv. BRS Integra e de *Cajanus cajan* cv. BRS Guatã impacta nas características agrônômicas das culturas, produção, qualidade da silagem e viabilidade econômica dos sistemas de cultivo. O experimento foi conduzido em delineamento em blocos ao acaso, com três repetições, em esquema de parcelas subdivididas no tempo, sendo as parcelas constituídas por sete sistemas de cultivo: milho, capim-integra e guatã em monocultivo; milho consorciado com capim-integra; milho consorciado com guatã; capim-integra consorciado com guatã e milho consorciado com capim-integra e guatã. As avaliações foram realizadas durante dois anos consecutivos nas mesmas parcelas, sendo os anos de avaliação considerados como subparcelas. Os resultados indicam que a presença do feijão guandu no consórcio duplo e triplo favoreceu o desenvolvimento do milho, promovendo maiores diâmetros de colmo, teores de clorofila, comprimento das espigas, resultando em maior produção de massa seca. Adicionalmente, a integração com a leguminosa promoveu aporte proteico, nas silagens em comparação ao monocultivo de milho e capim-integra. Por outro lado, o milho garantiu melhor estabilidade fermentativa, mantendo o pH em níveis adequados e reduzindo a produção de efluentes, perdas de matéria seca e propiciando maiores teores de nutrientes digestíveis totais e digestibilidade, enquanto silagens sem o cereal apresentaram maiores perdas. Os sistemas de cultivo envolvendo o milho, no segundo ano de avaliação, foram fortemente influenciados pelas condições climáticas, o que resultou em menor produção. Na avaliação econômica, o consórcio triplo apresentou os maiores custos por hectare, porém a maior produção de biomassa resultou em menor custo por quilograma de massa seca em comparação ao milho em monocultivo. Conclui-se que o consórcio triplo entre milho, capim-integra e guatã apresentou o melhor desempenho

conjunto entre características agronômicas, produção, qualidade da silagem e indicadores econômicos, constituindo alternativa promissora para produção de silagem nas condições tropicais.

**Palavras-chave:** Análise econômica, perfil fermentativo, sustentabilidade, valor nutritivo, *Zea mays*.

SALGADO, GUILHERME HENRIQUE. Federal Institute of Education, Science and Technology Goiano - Rio Verde Campus, July 2026. **Agronomic performance, production and quality of corn silage, *Brachiaria ruziziensis* cv. BRS Integra and *Cajanus cajan* cv. BRS Guatã.** Advisor: Dr<sup>a</sup>. Kátia Aparecida de Pinho Costa, Co-advisors: Prof. Dr. Adriano Carvalho Costa; Profa. Dr. Andreia Santos Cezario.

Current agricultural production faces complex and urgent challenges related to environmental sustainability, climate change and food security of a growing population. In this context, the objective was to elucidate how the synergism between maize, the new cultivars of *Brachiaria ruziziensis* cv. BRS Integra and pigeon pea cv. BRS Guatã impacts on the agronomic characteristics of crops, yield, silage quality and economic viability of cropping systems. The experiment was conducted in a randomized block design, with three replications, in a split-plot scheme, with the plots consisting of seven cropping systems: maize, integra grass and guatã in monoculture; maize intercropped with grass maize intercropped with guatã; Integra grass intercropped with guatã and corn intercropped with integra grass and guatã. The evaluations were carried out during two consecutive years in the same plots, and the evaluation years were considered as subplots. The results revealed that the presence of pigeon pea in the double and triple intercropping favored the development of corn, promoting larger stem diameters, higher chlorophyll contents, ear length, resulting in higher dry matter production. In addition, the integration with the legume promoted protein intake, increasing the crude protein contents of silage compared to the monoculture of corn and integral grass. On the other hand, corn ensured better fermentative stability, maintaining pH at adequate levels and reducing effluent production, dry matter losses and providing higher levels of total digestible nutrients and digestibility, while silages without the cereal showed high losses. The cropping systems involving corn, in the second year of evaluation, were strongly influenced by climatic conditions, which resulted in lower production. In the economic evaluation, the triple intercropping presented the highest costs per hectare, but the higher biomass production resulted in lower cost per kilogram of dry matter compared to single corn, with R\$ 0.16 and R\$ 0.19 in the two years, respectively, against R\$ 0.21 and R\$ 0.25 in single corn. It was concluded that the triple intercropping between corn, Integra grass and guatã presented the best joint performance between dry mass production, agronomic characteristics, silage quality and economic indicators, constituting a promising alternative for silage production under the conditions evaluated.

**Keywords:** Economic analysis, fermentation profile, sustainability, nutritive value, *Zea mays*.

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

Com o crescimento populacional, o uso do solo tem sido intensificado, principalmente em áreas agrícolas, pastagens e áreas florestais. Segundo a Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2025), os sistemas agroalimentares encontram-se ameaçados por práticas insustentáveis de gestão de recursos naturais, afetando diretamente as mudanças climáticas e, consequentemente, a segurança alimentar.

Nesse contexto, a pecuária tem sido historicamente apontada como uma das principais responsáveis pelas mudanças no uso da terra, com desmatamentos destinados à formação de pastagens e práticas como queimadas intencionais para limpeza dos pastos, ações que geraram severos impactos ambientais e contribuíram para o aquecimento global (Silveira *et al.*, 2022; Li *et al.*, 2025).

Estudos indicam que a recuperação de áreas degradadas reduz o desmatamento e permite a intensificação do uso das pastagens. Contudo, essa intensificação pode aumentar as emissões de gases de efeito estufa, como metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), uma vez que está diretamente relacionada ao incremento do número de bovinos (Santos *et al.*, 2024). Além disso, com o maior uso das pastagens e a consequente extração de nutrientes do solo, a aplicação de fertilizantes minerais, especialmente os nitrogenados, tende a aumentar significativamente (Dencsö *et al.*, 2025), elevando também as emissões de N<sub>2</sub>O.

As crescentes preocupações globais relacionadas à segurança alimentar e à sustentabilidade dos sistemas produtivos reforçam a necessidade da adoção de boas práticas na gestão dos recursos naturais e produtivos. Essas estratégias são essenciais para promover a proteção ambiental, o bem-estar animal, a segurança alimentar e a sustentabilidade econômica dos sistemas de produção em longo prazo (FAO, 2026). Frente a esse cenário, os sistemas integrados de produção agropecuária surgem como alternativas sustentáveis, promovendo maior produtividade por área (Silva *et al.*, 2024), melhor ciclagem de nutrientes (Prado *et al.*, 2025) e uso mais eficiente dos recursos naturais (Silva *et al.*, 2025).

Os sistemas de integração podem ser implantados em uma mesma área por meio de consórcio, sucessão ou rotação de culturas. Dentre essas estratégias, o consórcio entre culturas agrícolas destaca-se por possibilitar o cultivo simultâneo de duas ou mais

espécies vegetais na mesma área, aumentando a eficiência no uso de água, luz e nutrientes em comparação ao monocultivo (Chakraborty *et al.*, 2024; Silva *et al.*, 2024b). Além disso, o consórcio contribui para o controle de pragas e plantas daninhas, redução da erosão do solo, maior diversidade microbológica e estabilidade produtiva, favorecendo a sustentabilidade dos sistemas agropecuários (Salvador *et al.*, 2021). Nessa abordagem, o sistema Santa Ana de integração lavoura-pecuária (ILP) destaca-se por integrar culturas anuais e forrageiras tropicais para a produção de silagem, com foco em recuperação de pastagens degradadas. Esse sistema possibilita incremento nutricional e aumento da massa ensilada, além do aumento da fertilidade do solo durante a consorciação (Lobato & Cordeiro, 2022).

Silagens provenientes de culturas em monocultivo podem apresentar vantagens e limitações. O milho, por exemplo, destaca-se pelas excelentes características fermentativas, sendo a cultura mais utilizada para produção de silagem no mundo (Sharma *et al.*, 2023). Entretanto, apresenta menores teores de proteína bruta, quando comparado com algumas forrageiras tropicais (Souza *et al.*, 2019). Por outro lado, gramíneas e leguminosas apresentam alto teor de umidade no momento do corte e elevada capacidade tampão, fatores que podem comprometer o processo fermentativo (Schwingel *et al.*, 2020; Araujo *et al.*, 2023). Dessa forma, torna-se necessária a utilização de aditivos ou a realização da pré-secagem da forragem, visando favorecer a boa fermentação e manutenção da qualidade nutricional da silagem (Marques *et al.*, 2025).

Sendo assim, para alcançar o equilíbrio nutricional entre energia e proteína, nas dietas de animais de alta produção, a utilização do consórcio entre culturas torna-se uma estratégia relevante em relação ao monocultivo (Prado *et al.*, 2023; Silva *et al.*, 2024b; Rezende *et al.*, 2026). O consórcio duplo entre milho e gramíneas já está consolidado nos sistemas de produção agropecuária, podendo atingir rendimentos semelhantes ou até maiores aos observados em monocultivo. Além disso, a gramínea proporciona maior cobertura de solo, favorecendo a ciclagem de nutrientes, melhorando as características químicas e físicas do solo e reduzindo processos erosivos e a infestação por plantas daninhas (Makino *et al.*, 2019). As leguminosas contribuem para incrementar o teor de proteína bruta na dieta (Locali-Pereira *et al.*, 2023), promovem a fixação biológica de nitrogênio atmosférico no solo (Salinas-Roco *et al.*, 2024), atuam na proteção e manutenção da microbiota e aumentam a deposição de matéria orgânica na área (Yang *et al.*, 2024). Portanto, a compreensão de como cada cultura é desenvolvida em sistemas integrados pode auxiliar na tomada de decisões para produção de uma silagem

nutricionalmente completa e sustentável.

Entre as espécies com potencial para compor sistemas integrados de produção, a *Brachiaria ruziziensis* destaca-se por apresentar reduzida competição com culturas anuais quando manejadas adequadamente (Silva *et al.*, 2024). Entretanto, ainda são escassas as informações sobre o desempenho do cultivar BRS Integra, lançada pela Embrapa em 2022 (Sobrinho *et al.*, 2022), especialmente quanto ao seu potencial para produção de biomassa destinada à cobertura do solo e à produção de silagem em sistemas consorciados (Paciullo *et al.*, 2020; Rodrigues *et al.*, 2023). De forma semelhante, a cultivar de feijão-guandu BRS Guatã apresenta características promissoras para sistemas integrados, devido ao potencial de recuperação de pastagens degradadas, descompactação biológica do solo, controle de nematoides e produção de forragem para alimentação animal durante o período seco (Oliveira *et al.*, 2021; Embrapa, 2024). Apesar desse potencial, ainda são limitadas as informações sobre o comportamento agrônomo desses cultivares quando cultivados em consórcio voltados à produção de silagem.

Apesar dos avanços no desenvolvimento e na adoção de sistemas integrados de produção, ainda são limitadas as informações sobre o desempenho agrônomo (Simões *et al.*, 2025), produtivo e nutricional de sistemas consorciados envolvendo culturas energéticas, forrageiras e leguminosas destinadas à produção de silagem, especialmente quando comparados aos sistemas em monocultivo (Dalzotto Artuzo *et al.*, 2025; Fan *et al.*, 2025). Além disso, a interação entre essas culturas pode influenciar tanto a qualidade fermentativa da silagem quanto a eficiência ambiental do sistema, incluindo seu potencial de mitigação das emissões de gases de efeito estufa, reforçando a necessidade de estudos que avaliem esses sistemas de forma integrada (Zheng *et al.*, 2025).

Adam *et al.* (2026) destacaram que não basta apenas desenvolver novos modelos de cultivo, sendo também necessário avaliar de forma rigorosa o tipo e o grau de complexidade dos sistemas consorciados. Nesse contexto, compreender o desenvolvimento de culturas em consórcio duplo e triplo, com foco na produção e na qualidade da silagem, torna-se essencial para ampliar o conhecimento da viabilidade agrônoma, produtiva e sustentável desse sistema, sendo fundamental para elucidar a dinâmica dos consórcios e os potenciais vantagens para a produção de silagem, auxiliando na tomada de decisão quanto à adoção dessa tecnologia nos sistemas de produção agropecuária.

## 2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adam, A. M., Adam, M., Asch, F., Boote, K. J., Chimonyo, V. G. P., Christina, M., Corbeels, M., Couëdel, A., De Freitas, M., Della Chiesa, T., Ewert, F., Falconnier, G. N., Fuchs, K., Gaiser, T., Giller, K. E., Hoogenboom, G., Huth, N., Jibrin, J. M., Justes, E., ... Cadisch, G. (2026). The ongoing journey of modelling intercropping systems: A conceptual resource sharing intercomparison from model developers and expert users. *Field Crops Research*, 343. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2026.110491>
- Araujo, C. M. C., Jara Galeano, E. S., Orrico Junior, M. A. P., Fernandes, T., Alves, J. P., Retore, M., Silva, M. S. J., Orrico, A. C. A., Garcia, R. A., & Machado, L. A. Z. (2023). Fermentative parameters and chemical composition of mixed silages from corn-crotalaria intercropping. *Animal Feed Science and Technology*, 305. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2023.115779>
- Chakraborty, P., Thotakuri, G., Singh, N., Dhaliwal, J. K., & Kumar, S. (2024). Crop-livestock integration influenced soil profile organic carbon and hydro-physical properties in converted grasslands to row crops. *Soil and Tillage Research*, 240. <https://doi.org/10.1016/j.still.2024.106093>
- Dalzotto Artuzo, F., Allegretti, G., de Faccio Carvalho, P. C., & Talamini, E. (2025). Agricultural systems design: Strategies for nutritionally oriented sustainable intensification. *Journal of Environmental Management*, 381, 125253. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2025.125253>
- Dencső, M., Bakacsi, Z., Fodor, N., Horel, Á., Magyar, M., & Tóth, E. (2025). Fertilizer management modifies soil CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, and CH<sub>4</sub> emissions in a Chernozem soil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 385, 109580. <https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2025.109580>

- Embrapa. (2024). Nova variedade de feijão guandu combate nematoides e auxilia na alimentação animal; Embrapa; Disponível em: [https://www.embrapa.br/tema-integracao-lavoura-pecuaria-floresta-ilpf/busca-de-noticias/-/noticia/96460433/nova-variedade-de-feijao-guandu-combate-nematoides-e-auxilia-na-alimentacao-animal?p\\_auth=TJl49XJw](https://www.embrapa.br/tema-integracao-lavoura-pecuaria-floresta-ilpf/busca-de-noticias/-/noticia/96460433/nova-variedade-de-feijao-guandu-combate-nematoides-e-auxilia-na-alimentacao-animal?p_auth=TJl49XJw); Acesso em: 28 dez. 2024.
- Fan, H., Miao, R., Guo, C., Bao, X., He, W., Sun, Y., & Zhao, C. (2025). Research on the Effect of Diversified Cropping on Crop Quality: A Review. *Agriculture* 2025, Vol. 15, 15(5). <https://doi.org/10.3390/AGRICULTURE15050456>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2025). The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture 2025. In *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cd7488en>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2026). *Fomentando la investigación sobre el manejo sostenible del suelo y el agua mediante buenas prácticas y tecnologías*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cd9032es>
- Li, L., Awada, T., Shi, Y., Jin, V. L., & Kaiser, M. (2025). Global Greenhouse Gas Emissions From Agriculture: Pathways to Sustainable Reductions. *Global Change Biology*, 31. <https://doi.org/10.1111/gcb.70015>
- Lobato, B., & Cordeiro, L. A. (2022). *Dia de Campo apresenta resultados da primeira década de Integração Lavoura-Pecuária no Oeste paulista - Portal Embrapa*. <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/78660197/dia-de-campo-apresenta-resultados-da-primeira-decada-de-integracao-lavoura-pecuaria-no-oeste-paulista>
- Locali-Pereira, A. R., Boire, A., Berton-Carabin, C., Taboga, S. R., Solé-Jamault, V., & Nicoletti, V. R. (2023). Pigeon Pea, An Emerging Source of Plant-Based Proteins. *ACS Food Science & Technology*, 3(11), 1777–1799. <https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.3c00268>

- Makino, P. A., Ceccon, G., Ribeiro, L. M., & Ceccon, F. (2019). Agronomic performance and photosynthetically active radiation intercepted by maize intercropped with brachiaria. *Revista de agricultura neotropical*, 6(4), 42–48. <https://doi.org/10.32404/REAN.V6I4.3624>
- Marques, B. de S., Costa, K. A. de P., Silva, L. M. da, Costa, A. C., Ferrari, G. C., de Lima, J. F., da Silva, A. F., Matos, W. P., Gonçalves, L. F., Lima, D. A. S., Ferreira, J. V., Pontes, E. F., & Oliveira, F. F. P. (2025). Use of Bacterial-Enzymatic Inoculant Improves Silage Quality and Reduces Fermentation Losses in Intercropped Systems. *Agriculture (Switzerland)*, 15. <https://doi.org/10.3390/agriculture15040437>
- Oliveira, P. P. A., Godoy, R., Oliveira, B. A., Pedroso, A. de F., Bonani, W. L., Rodrigues, P. H. M., & Lelis, A. L. J. (2021). Avaliação de diferentes materiais genéticos de feijão-guandu em consórcio com capim-marandu na recuperação de pastagens degradadas. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1142946>.
- Paciullo, D. S. C., Rodrigues, P. D. R., Soares, N. D. A., Gomide, C. A. de M., Souza Sobrinho, F. de, & Morenz, M. J. F. (2020). Produção de forragem de *Brachiaria ruziziensis* cv. BRS Integra sob pastejo, ao longo do ano. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1131568>.
- Prado, L. G., Costa, K. A. de P., da Silva, L. M., Costa, A. C., Severiano, E. da C., Costa, J. V. C. P., Habermann, E., & e Silva, J. A. G. (2023). Silages of sorghum, Tamani guinea grass, and *Stylosanthes* in an integrated system: production and quality. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1208319>
- Prado, L. G., Habermann, E., Costa, K. A. de P., da Silva, L. M., Costa, J. V. C. P., da Costa Severiano, E., Costa, A. C., Silva, J. A. G. e., Vilela, L., Silva, F. G., & Martinez, C. A. (2025). Impact of different *Brachiaria ruziziensis* management practices in a crop-livestock integration system on soil health, soybean physiology, and yields. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 393, 109808. <https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2025.109808>

- Rezende, A. V. De, Alves, A. C. R., Portugal, J. M., Lima, S. J. F. de, & Oliveira, T. É. de. (2026). Corn silage production in a crop-livestock integration system. *Pesquisa Agropecuaria Tropical*, 56. <https://doi.org/10.1590/1983-40632026v5683994>
- Rodrigues, P. R., Paciullo, D. S. C., Soares, N. A., Gomide, C. A. M., Morenz, M. J. F., Lopes, F. C. F., Sobrinho, F. S., & Lana, M. Q. (2023). Productive traits and nutritional value of *Urochloa ruziziensis* submitted to different planting densities and defoliation intensities. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinaria e Zootecnia*, 75, 1005–1015. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-12976>
- Salinas-Roco, S., Morales-González, A., Espinoza, S., Pérez-Díaz, R., Carrasco, B., del Pozo, A., & Cabeza, R. A. (2024). N<sub>2</sub> Fixation, N Transfer, and Land Equivalent Ratio (LER) in Grain Legume–Wheat Intercropping: Impact of N Supply and Plant Density. *Plants*, 13. <https://doi.org/10.3390/plants13070991>
- Salvador, K. R. da S., Jardim, A. M. da R. F., Araújo Júnior, G. D. N., Alves, C. P., Pinheiro, A. G., Pereira, R. C. G., de Souza, L. S. B., & da Silva, T. G. F. (2021). Intensificação de sistemas de produção de palma forrageira por meio de consorciação rotativa com gramíneas, leguminosas e oleaginosas: uma revisão. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 14(4), 2369–2390. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.4.p2322-2343>
- Santos, C. O. dos, Pinto, A. de S., Santos, M. P. dos, Alves, B. J. R., Neto, M. B. R., & Ferreira, L. G. (2024). Livestock intensification and environmental sustainability: An analysis based on pasture management scenarios in the brazilian savanna. *Journal of Environmental Management*, 355, 120473. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2024.120473>
- Schwingel, A. W., Fernandes, T., Orrico, M. A. P., Orrico, A. C. A., de Lucas, J., Reis, R. A., & de Souza, R. O. (2020). The quality of crude glycerine influences the fermentation and nutritive value of Piatã grass silage. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 49, 1–11. <https://doi.org/10.37496/rbz4920200114>

- Sharma, J., Sharma, S., Sai Karnatam, K., Prakash Raigar, O., Lahkar, C., Kumar Saini, D., Kumar, S., Singh, A., Kumar Das, A., Sharma, P., & Kumar, R. (2023). Surveying the genomic landscape of silage-quality traits in maize (*Zea mays* L.). *Crop Journal*, 11, 1893–1901. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2023.10.007>
- Silva, F. A. M. da, Júnior, E. J. da S. C., Nascimento, J. M. do, & Matos, C. da C. de. (2022). Sorgo granífero cultivado sob diferentes doses de fósforo. *Recital - Revista de Educação, Ciência e Tecnologia de Almenara/MG*, 4(3), 88–103. <https://doi.org/10.46636/RECITAL.V4I3.327>
- Silva, J. A. G., Costa, K. A. de P., Severiano, E. da C., Silva, A. G. da, Vilela, L., Leandro, W. M., Muniz, M. P., Silva, L. M. da, Mendonça, K. T. M., & Barros, V. M. (2024). Efficiency of Desiccation, Decomposition and Release of Nutrients in the Biomass of Forage Plants of the Genus *Brachiaria* After Intercropping with Sorghum in Integrated Systems for Soybean Productivity. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 55, 1644–1662. <https://doi.org/10.1080/00103624.2024.2323076>
- Silva, L. M. da, Costa, K. A. de P., Prado, L. G., Rezende, A. G., Severiano, E. da C., Costa, J. V. C. P., e Silva, J. A. G., Costa, A. C., Fernandes, P. B., Rodrigues, R. C., Marques, B. de S., de Moraes, B. F., & Rodrigues, F. (2024). Maize intercropped with *Panicum maximum* cultivars and Pigeon pea improves silage yield and quality. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8, 1416717. <https://doi.org/10.3389/FSUFS.2024.1416717/BIBTEX>
- Silva, L. M., Costa, K. A. de P., Gonçalves e Silva, J. A., Costa, A. C., Severiano, E. da C., Costa, J. V. C. P., Bento, J. C., Fernandes, P. B., Vilela, L., Olivera Viciado, D., Habermann, E., Rodrigues, F., & Martinez, C. A. (2025). Integrated triple cropping enhances soybean productivity. *Crop Science*, 65(5), e70176. <https://doi.org/10.1002/CSC2.70176;PAGE:STRING:ARTICLE/CHAPTER>

- Silva, L. M., Costa, K. A. de P., Prado, L. G., Rezende, A. G., Severiano, E. da C., Costa, J. V. C. P., e Silva, J. A. G., Costa, A. C., Fernandes, P. B., Rodrigues, R. C., Marques, B. de S., de Moraes, B. F., & Rodrigues, F. (2024). Maize intercropped with *Panicum maximum* cultivars and Pigeon pea improves silage yield and quality. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8, 1416717. <https://doi.org/10.3389/FSUFS.2024.1416717/TEXT>
- Silveira, J. G. da, Neto, S. N. de O., Canto, A. C. B. Do, Leite, F. F. G. D., Cordeiro, F. R., Assad, L. T., Silva, G. C. C., Marques, R. de O., Dalarme, M. S. L., Ferreira, I. G. M., Conceição, M. C. G. da, & Rodrigues, R. de A. R. (2022). Land Use, Land Cover Change and Sustainable Intensification of Agriculture and Livestock in the Amazon and the Atlantic Forest in Brazil. *Sustainability (Switzerland)*, 14. <https://doi.org/10.3390/su14052563>
- Simões, V. J. L. P., Duarte, L. P., Rintzel, R. D. D., Martins, A. P., Tiecher, T., Mori, L. D., Bremm, C., Carneiro, M. A. C., & Carvalho, P. C. de F. (2025). System fertilization improves soil quality and increases primary production in an integrated crop-livestock system. *Journal of Integrative Agriculture*, 24(9), 3671–3688. <https://doi.org/10.1016/J.JIA.2025.03.002>
- Sobrinho, F. de S., Auad, A. M., Brighenti, A. M., Gomide, C. A. de M., Martins, C. E., Castro, C. R. T., Paciullo, D. S. C., Benites, F. R. G., & Rocha, W. S. D. da. (2022). BRS Integra: nova cultivar de *Urochloa ruziziensis* para a ILPF. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1140781?Mode=full>.
- Souza, W. F. de, Costa, K. A. de P., Guarnieri, A., Severiano, E. da C., da Silva, J. T., Teixeira, D. A. A., Oliveira, S. S., & Dias, M. B. de C. (2019). Production and quality of the silage of corn intercropped with Paiaguas palisadegrass in different forage systems and maturity stages. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 48. <https://doi.org/10.1590/RBZ4820180222>

Zheng, L., Li, D., Ren, H., & Wang, H. (2025). Are intercropping systems more productive than monocultures in terms of forage yield and subsequent silage quality for ruminants? A meta-analysis. *Field Crops Research*, 332, 110027. <https://doi.org/10.1016/J.FCR.2025.110027>

### **3. OBJETIVOS**

Avaliar o desempenho agronômico e a produção de silagem do milho, *Brachiaria ruziziensis* cv. BRS Integra e *Cajanus cajan* cv. BRS Guatã, em monocultivo e consorciado, durante dois anos.

# CAPÍTULO I

## **Consórcio de milho com gramínea e leguminosa: estratégia para aumentar a produção e a qualidade da silagem**

**RESUMO:** Os sistemas integrados de produção agropecuária constituem uma estratégia sustentável para aumentar a eficiência no uso da terra, reduzir impactos ambientais e ampliar a produção de alimentos. Neste contexto, objetivou-se elucidar como o sinergismo entre o milho, o novo cultivar de *Brachiaria ruziziensis* cv. BRS Integra e de *Cajanus cajan* cv. BRS Guatã impacta nas características agronômicas das culturas, produção, qualidade da silagem e viabilidade econômica dos sistemas de cultivo. O experimento foi conduzido em delineamento em blocos ao acaso, com três repetições, em esquema de parcelas subdivididas no tempo, sendo as parcelas constituídas por sete sistemas de cultivo: milho, capim-integra e guatã em monocultivo; milho consorciado com capim-integra; milho consorciado com guatã; capim-integra consorciado com guatã e milho consorciado com capim-integra e guatã. As avaliações foram realizadas durante dois anos consecutivos nas mesmas parcelas, sendo os anos de avaliação considerados como subparcelas. Os resultados revelaram que a presença da leguminosa nos consórcios com milho e integra favoreceu o desenvolvimento do milho, promovendo maiores clorofilas, diâmetros de colmo, e comprimento das espigas, resultando em maior produção de massa seca. Além disso, a integração com a leguminosa promoveu aporte proteico, em comparação ao monocultivo de milho e capim-integra. Por outro lado, o milho garantiu melhor estabilidade fermentativa, mantendo o pH em níveis adequados e reduzindo a produção de efluentes, perdas de matéria seca e propiciando maiores teores de nutrientes digestíveis totais e digestibilidade, enquanto silagens sem o cereal apresentaram perdas elevadas. Os sistemas de cultivo envolvendo o milho, no segundo ano de avaliação, foram fortemente influenciados pelas condições climáticas, o que resultou em menor produção. Economicamente, o consórcio triplo apresentou maior custo por hectare, porém menor custo por quilograma de massa seca ensilada. A inclusão da leguminosa, por sua capacidade de fixação biológica de nitrogênio, possibilita a redução da dependência de fertilizantes nitrogenados, contribuindo para maior eficiência no uso desse nutriente e para a redução dos custos com adubação no sistema de produção. Conclui-se que, nas condições avaliadas, o consórcio triplo apresentou o melhor desempenho conjunto entre características agronômicas, produção de massa ensilada,

qualidade da silagem e indicadores econômicos, constituindo uma alternativa promissora para a produção de volumoso.

**Palavras-chave:** Características fermentativas, sistemas integrados, viabilidade econômica.

## 1. INTRODUÇÃO

Os desafios relacionados à produção sustentável de alimentos tornam-se cada vez mais complexos diante das preocupações ambientais, das alterações climáticas e da necessidade de atender à crescente demanda por alimentos (Raseduzzaman & Jensen, 2017; Song *et al.*, 2026). Nesse cenário, a adoção de estratégias capazes de aumentar a eficiência no uso dos recursos naturais e dos insumos agrícolas é fundamental para o desenvolvimento de sistemas de produção mais sustentáveis (Prado *et al.*, 2023). Entre essas estratégias, os sistemas integrados de produção agropecuária destacam-se por possibilitar a associação planejada de diferentes componentes produtivos, favorecendo o uso complementar dos recursos e a obtenção de benefícios produtivos, econômicos e ambientais (Nascimento *et al.*, 2026; Silva *et al.*, 2024a; Silva *et al.*, 2024b).

Esses sistemas caracterizam-se pela integração de culturas agrícolas e animais em uma mesma área, de forma espacial, temporal e gerencialmente planejada, explorando as relações de complementaridade entre seus componentes (Delandmeter *et al.*, 2026). A interação entre esses componentes pode favorecer a utilização mais eficiente da terra e dos recursos disponíveis, permitindo intensificar a produção sem necessariamente ampliar a área cultivada (Farias *et al.*, 2020; Vanolli *et al.*, 2025). Além disso, a maior produção e deposição de biomassa vegetal e a ciclagem de nutrientes provenientes dos resíduos culturais podem contribuir para a melhoria da fertilidade do solo e para a redução da dependência de insumos externos, especialmente de fertilizantes minerais (Swanepoel & Smit, 2025; Delandmeter *et al.*, 2026).

Dentro dessa abordagem, o consórcio entre culturas constitui uma estratégia para explorar as interações entre espécies com diferentes características e funções no sistema produtivo. A associação entre culturas energéticas, gramíneas forrageiras e leguminosas podem ampliar o aproveitamento dos recursos disponíveis e, simultaneamente, gerar produtos de interesse agrícola e pecuário (Maitra *et al.*, 2021; Miranda *et al.*, 2025). Quando direcionado à produção de silagem, o consórcio pode influenciar a quantidade e a composição da biomassa produzida, com possíveis reflexos sobre os parâmetros fermentativos e o valor nutritivo do alimento (Prado *et al.*, 2023). Assim, a definição das espécies e dos arranjos de cultivo torna-se determinante para que a complementaridade entre os componentes resulte em benefícios ao sistema.

Entre as culturas anuais utilizadas em sistemas integrados, o milho (*Zea mays* L.) apresenta ampla utilização na região central do Brasil, especialmente na segunda safra, com resultados consolidados tanto para a produção de grãos (Augusto *et al.*, 2024) quanto

para a produção de silagem (Galeano *et al.*, 2022; Herrera *et al.*, 2023). Além de apresentar elevada produção de biomassa, o milho possui características que favorecem sua utilização como cultura principal em sistemas destinados à produção de silagem. Entretanto, a associação com espécies forrageiras pode modificar a dinâmica de crescimento das culturas e a quantidade e qualidade da biomassa disponível para ensilagem, tornando necessária a avaliação do desempenho das espécies quando cultivadas em consórcio (Sarto *et al.*, 2021).

Entre as forrageiras tropicais utilizadas nesses sistemas, a *Brachiaria ruziziensis* destaca-se pelas características morfológicas e potencial de apresentar menor competição com culturas anuais quando adequadamente implantada (Silva *et al.*, 2024a). No entanto, existem poucas informações do desempenho do novo cultivar da *Brachiaria ruziziensis*, BRS Integra, lançada em 2022 pela Embrapa (Sobrinho *et al.*, 2022) e seu potencial produtivo visando a produção de silagem. O novo cultivar apresenta maior produtividade, valor nutritivo e melhor desempenho no período da seca em comparação ao cultivar Kennedy, anteriormente disponível no mercado (Rodrigues *et al.*, 2023). Além do potencial para produção de forragem, a BRS Integra pode contribuir para a produção de biomassa destinada à cobertura do solo, ampliando as possibilidades de utilização desse cultivar em sistemas integrados.

Embora a inclusão de gramíneas forrageiras possa ampliar a produção de silagem do sistema, a associação com leguminosas pode contribuir para melhorar o valor nutritivo da silagem, bem como, aumentar o fornecimento de nitrogênio e a ciclagem de nutrientes no sistema. O cultivo de leguminosas em associação com culturas agrícolas e forrageiras tem despertado interesse devido aos potenciais efeitos sobre a produção de silagem e a qualidade nutritiva do material ensilado (Ligoski *et al.*, 2020; Pereira *et al.*, 2023; Silva *et al.*, 2024). Entre essas espécies, o feijão guandu constitui uma importante fonte de proteína para a alimentação humana e animal e apresenta potencial para utilização em sistemas consorciados (Locali-Pereira *et al.*, 2023). Além disso, a capacidade de estabelecer relação simbiótica com bactérias do solo, especialmente rizóbios, possibilita a fixação biológica do nitrogênio e pode contribuir para o aumento dos estoques desse nutriente no solo (Silva *et al.*, 2022; Salinas-Roco *et al.*, 2024).

A utilização de leguminosas também pode reduzir a dependência de fertilizantes minerais nitrogenados, uma vez que o nitrogênio presente nos resíduos vegetais pode ser disponibilizado gradualmente no solo (Jensen *et al.*, 2020). Essa dinâmica pode favorecer o rendimento das culturas (Mesfin *et al.*, 2023), além de promover melhoria da qualidade

do solo e a redução das emissões de gases de efeito estufa (Yang *et al.*, 2024). Dessa forma, a inclusão de leguminosas em sistemas consorciados apresenta potencial para aumentar a eficiência de utilização do nitrogênio e, consequentemente, favorecer a sustentabilidade dos sistemas agrícolas (Calonego *et al.*, 2026).

Nesse contexto, o novo cultivar de feijão guandu BRS Guatã apresenta características que ampliam o potencial de utilização em sistemas integrados. O cultivar pode contribuir para a recuperação de pastagens degradadas (Oliveira *et al.*, 2022), auxiliar na alimentação de bovinos durante a época seca, reduzir a ocorrência de nematoides e favorecer a descompactação do solo (Embrapa, 2024). Entretanto, assim como observado para a BRS Integra, ainda são necessárias informações sobre o comportamento desse cultivar quando associado simultaneamente a uma cultura agrícola e a uma gramínea forrageira, especialmente em sistemas destinados à produção de silagem.

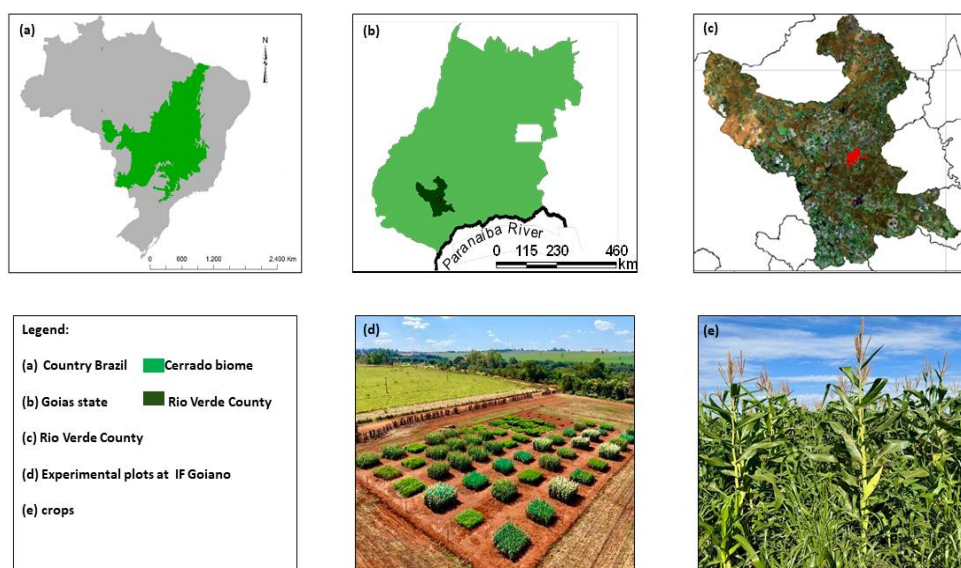
A associação de milho, gramínea forrageira e leguminosa pode resultar em diferentes relações de competição e complementaridade, determinadas pelas características das espécies e pelo arranjo adotado no cultivo (Raseduzzaman & Jensen, 2017). Portanto, a simples inclusão de novas espécies em um sistema consorciado não garante a obtenção dos benefícios esperados, sendo necessário compreender como essas espécies interagem e como essa interação é manifestada nas características agrônômicas, na produção e na qualidade do produto obtido. Nesse sentido, Adam *et al.* (2026) destacaram a importância de compreender o comportamento de novos sistemas de produção em diferentes condições de cultivo. A avaliação de arranjos envolvendo cultivares recentemente disponibilizadas no mercado, como a BRS Integra e a BRS Guatã, pode, portanto, fornecer informações necessárias para determinar a viabilidade de sua utilização conjunta com o milho para produção de silagem.

Diante do exposto, este estudo fundamenta-se na hipótese de que o sistema de consórcio duplo e triplo com a leguminosa favorece o sinergismo entre as espécies, resultando em maior produção de massa seca para ensilagem e melhor qualidade fermentativa e bromatológica da silagem, quando comparado aos monocultivos das culturas. Assim, objetivou-se elucidar como o sinergismo entre o milho, os novos cultivares de *Brachiaria ruziziensis* cv. BRS Integra e de *Cajanus cajan* cv. BRS Guatã impacta nas características agrônômicas das culturas, produção, qualidade da silagem e viabilidade econômica dos sistemas de cultivo.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

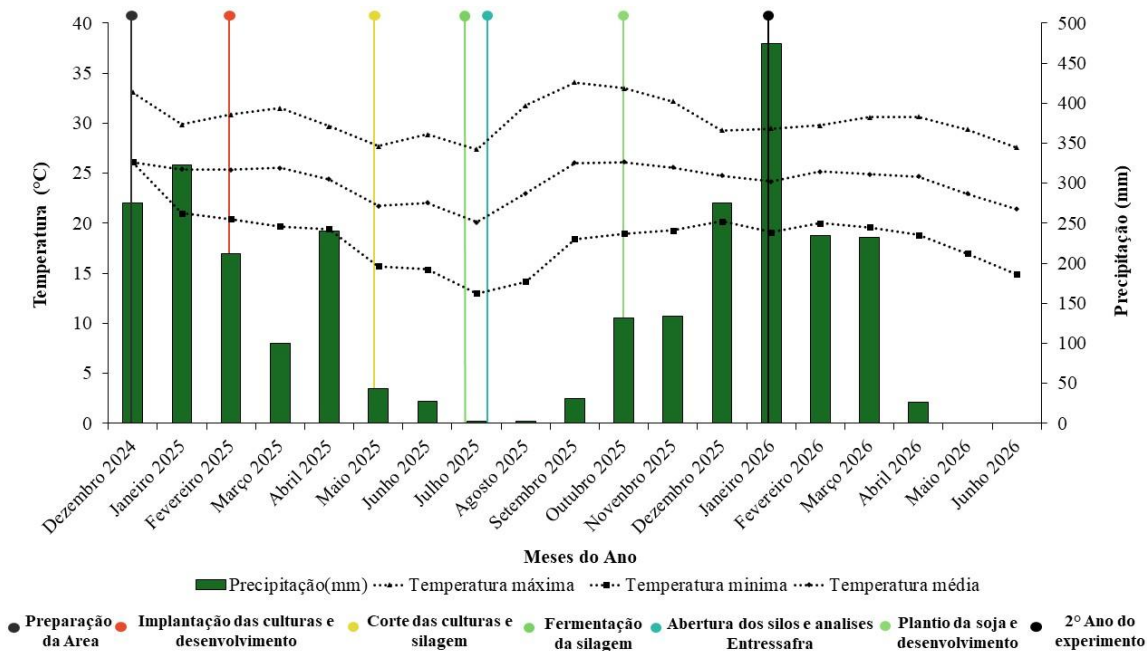
### 2.1 Descrição da área

O experimento foi realizado na área experimental do Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, de janeiro de 2025 a julho de 2026, contemplando três safras, localizado no município de Rio Verde, Goiás, Brasil, sob as coordenadas geográficas 17°48'22" S e 50°54'11" W, a uma altitude de 832 m (Figura 1).



**Figura 1.** Área experimental durante a condução do experimento em Rio Verde, Goiás, Brasil.

O clima da região é classificado de acordo com Köppen-Geiger (Cardoso et al., 2014), como Megatérmico ou Tropical Úmido (Aw), do subtipo Tropical de Savana, com inverno seco e verão chuvoso. Durante toda condução do experimento, foram monitorados diariamente os dados de precipitação, temperatura mínima, média e máxima (Figura 2). Foram observados, no primeiro ano do experimento, durante o cultivo do milho (período de fevereiro de 2025 até maio de 2025), média de temperatura de 24,3°C e precipitação de 596,3 mm, com distribuição regular das chuvas. Já no segundo ano de condução da pesquisa (período de fevereiro de 2026 até maio de 2026), foi observado média de temperatura de 24,4°C e precipitação de 494,2 mm.



**Figura 2.** Precipitação, temperatura máxima, mínima e média registradas durante o mês de janeiro de 2025 a junho de 2026 em Rio Verde, Goiás, Brasil.

## 2.2 Caracterização experimental e implantação das culturas

O preparo da área teve início em janeiro de 2025, com a aplicação de glifosato na dose de 2 L ha<sup>-1</sup>, correspondente a 480 g L<sup>-1</sup> de ingrediente ativo, para o controle das plantas daninhas. Após 30 dias, foi realizada uma gradagem com grade aradora, a aproximadamente 20 cm de profundidade, visando ao controle das plantas remanescentes. Posteriormente, procedeu-se à gradagem niveladora para uniformização da superfície do solo.

Antes da implantação do experimento (fevereiro de 2025 e 2026), foram coletadas amostras de solo na camada de 0-20 cm para a determinação das características físicas e químicas. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho Acriférico típico (Santos *et al.*, 2025), com 562; 94 e 344 g kg<sup>-1</sup> de argila, silte e areia, respectivamente. As propriedades químicas do solo, nos dois anos de pesquisa, apresentados na Tabela 1.

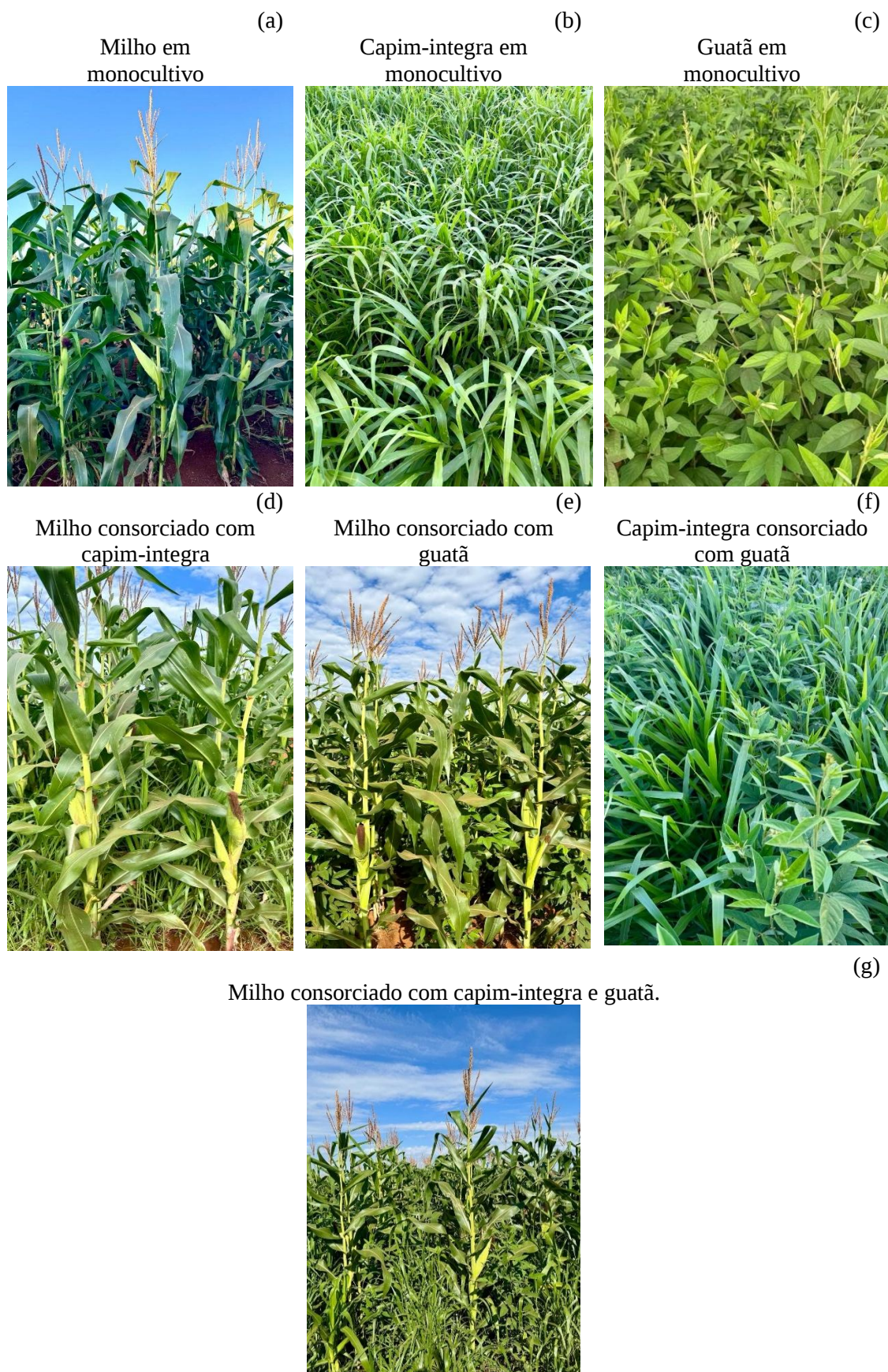
**Tabela 1.** Características químicas de um Latossolo Vermelho Acriférico típico na profundidade de 0-20 cm antes da implantação da pesquisa na safrinha de 2025 e 2026.

|      | pH                | Ca                                             | Mg   | Al   | H+Al | K                               | CTC   | P   | Zn            | Fe   | Cu                 | V <sub>1</sub> | MO   |
|------|-------------------|------------------------------------------------|------|------|------|---------------------------------|-------|-----|---------------|------|--------------------|----------------|------|
| 2025 | CaCl <sub>2</sub> | ----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ----- |      |      |      | ----- mg dm <sup>-3</sup> ----- |       |     | ----- % ----- |      | g kg <sup>-1</sup> |                |      |
|      | 5,4               | 3,49                                           | 1,02 | 0,00 | 5,78 | 0,95                            | 11,25 | 7,3 | 1,1           | 16,6 | 4,2                | 48,6           | 32,2 |
| 2026 | CaCl <sub>2</sub> | ----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ----- |      |      |      | ----- mg dm <sup>-3</sup> ----- |       |     | ----- % ----- |      | g kg <sup>-1</sup> |                |      |
|      | 5,7               | 3,08                                           | 1,34 | 0,00 | 5,18 | 0,64                            | 10,24 | 7,8 | 1,4           | 15,2 | 4,2                | 49,4           | 37,6 |

CTC: capacidade de troca catiônica; P: Mehlich; V<sub>1</sub>: saturação por bases; MO: matéria orgânica.

O experimento foi conduzido em delineamento em blocos ao acaso, com três repetições, em esquema de parcelas subdivididas no tempo, sendo as parcelas constituídas por sete sistemas de cultivo: milho (*Zea mays* L.) em monocultivo; capim-integra em monocultivo (*Brachiaria ruziziensis* cv. BRS Integra); guatã em monocultivo (*Cajanus cajan* L. cv BRS Guatã); milho consorciado com capim-integra; milho consorciado com guatã; capim-integra consorciado com guatã e milho consorciado com capim-integra e guatã. As avaliações foram realizadas durante dois anos consecutivos nas mesmas parcelas, sendo os anos de avaliação considerados como subparcelas. O híbrido de milho utilizado foi o B2620PWU.

Na Figura 3 são apresentados os esquemas do plantio das culturas. Nos monocultivos, as culturas foram semeadas a 0,50 m entre linhas (Figuras 3a, 3b e 3c). No consórcio duplo, o milho foi semeado a 0,50 m entre linhas, enquanto o capim-integra e o guatã foram semeados na entre linha do milho, com espaçamento de 0,25 m (Figuras 3d e 3e). No consórcio entre capim-integra e guatã, o capim-integra foi semeado a 0,50 m entre linhas, e o guatã foi distribuído nas entre linhas, com espaçamento de 0,25 m (Figura 3f). Já no consórcio triplo, o milho foi semeado a 0,90 m entre linhas, mantendo a população de plantas. A forrageira e a leguminosa foram semeadas na entre linha do milho, a 0,30 m da linha do milho, a 2 cm de profundidade, conforme ilustrado na Figura 3g. Em todos os tratamentos, o milho foi semeado a 3 cm de profundidade. Não foi realizada aplicação de herbicidas para supressão do crescimento da forrageira e da leguminosa nos sistemas consorciados.



**Figura 3.** Esquema dos tratamentos e disposição das parcelas para milho em monocultivo (a), capim-integra em monocultivo (b), guatã em monocultivo (c), milho consorciado com

capim-integra (d), milho consorciado com guatã (e), capim-integra consorciado com guatã (f) e milho consorciado com capim-integra e guatã (g).

A semeadura foi realizada manualmente, na segunda safra, nos dias 17 de fevereiro de 2025 e 18 de fevereiro de 2026. De posse dos resultados da análise de solo e seguindo as recomendações, realizou-se a aplicação, no sulco de plantio, de 80 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> utilizando como fonte o superfosfato simples, no primeiro e segundo ano, respectivamente. Além disso, foi aplicado 20 kg ha<sup>-1</sup> de FTE BR 12 (9% Zn; 1,8% B; 0,8% Cu; 2% Mn; 3,5% Fe and 0,1% Mo), com uso da fonte Fritas. Nos dois anos, foram utilizadas quatro sementes de milho por metro linear, 10 sementes de feijão guandu cv. BRS Guatã por metro linear e 4 kg de semente de *Brachiaria ruziziensis* cv. BRS Integra por hectare, com valor cultural de 75%.

Quando as plantas do milho atingiram os estádios de três e seis folhas completamente desenvolvidas, foram realizadas adubações de cobertura, nos dois anos., com a aplicação, nos dois anos. Para o milho e integra em monocultivo foi aplicado 120 kg ha<sup>-1</sup> de N e 80 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, utilizando como fontes a ureia e o cloreto de potássio. Para o guatã em monocultivo e no consórcio duplo do milho com guatã e integra com guatã foi aplicação apenas 80 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, visando o aproveitamento do nitrogênio proveniente da fixação biológica pela leguminosa. Já no consórcio triplo, aplicou-se a metade da dose de N (60 kg ha<sup>-1</sup>) e 80 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O.

O controle de pragas foi realizado aos 20 e 40 dias após a emergência, com aplicação de Elestal Neo (ingrediente ativo: Espiropidiona e Acetamiprido), na dose de 250 g ha<sup>-1</sup> de produto comercial, para o controle de pulgão (*Rhopalosiphum maidis*). Aplicação de Engeo Pleno (ingrediente ativo: Tiametoxam e Lambda-Cialotrina), na dose de 250 ml ha<sup>-1</sup> de produto comercial, para o controle de lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*). Para o controle de cercosporiose (*Cercospora zea-maydis*), utilizou-se o fungicida Miravis (ingrediente ativo: Pidiflumetofem), na dose de 350 mL ha<sup>-1</sup> de produto comercial.

### **2.3. Avaliação das características agronômicas do milho**

As características agronômicas do milho em monocultivo e consorciado, foram avaliadas na área útil de cada parcela aos 30, 60 e 90 dias após a semeadura, sendo determinadas as seguintes variáveis: altura de plantas (cm), medida com auxílio de fita métrica, considerando-se a distância do solo até a extremidade da última folha

completamente desenvolvida e até a extremidade do pendão para as demais avaliações; diâmetro do colmo (mm): medido com auxílio de um paquímetro digital na base do colmo, entre os dois primeiros entrenós; e altura de inserção da primeira espiga (cm) realizada aos 60 dias após a semeadura, obtida com fita métrica, considerando-se a distância do solo até o ponto de inserção da primeira espiga.

No momento da colheita, em 26 de maio de 2025 e 20 de maio de 2026, para a produção de silagem, foram avaliados: número de fileira de grãos por espiga e comprimento de espigas (cm), medido com auxílio de fita métrica, considerando-se a distância entre a base e o ápice da espiga.

#### **2.4. Avaliação das características agronômicas do capim-integra e guatã**

As medições da altura do dossel do capim-integra e guatã, em monocultivo e consorciado, foram realizadas na área útil de cada parcela aos 30, 60 e 90 dias após a semeadura (DAS). As medições foram realizadas com auxílio de uma régua, por meio de leituras sistemáticas, considerando-se a distância do nível do solo até o “horizonte foliar” no topo do dossel como referência. Para isso, foram realizadas 10 leituras aleatórias em cada parcela experimental.

#### **2.5. Avaliação de clorofila**

A clorofila foi medida por um medidor portátil de clorofila SPAD-502 (Minolta, Osaka, Japão) na parte central da segunda folha madura (considerando a folha bandeira como a primeira) em 10 pontos aleatórios no centro da parcela. O medidor SPAD-502 foi calibrado antes de cada medição pressionando a sonda sem amostra até que a tela exibisse 'N = 0'. Para todas as culturas foi avaliado a clorofila aos 30, 60 e 90 dias.

#### **2.6. Silagem das culturas**

A colheita para ensilagem ocorreu em 26 de maio de 2025, aos 95 dias após a semeadura (DAS), no primeiro ano e em 20 de maio de 2026, aos 92 DAS, no segundo ano. Nesse período as plantas de milho estavam apresentando 350,4 e 351,8 g kg<sup>-1</sup> de matéria seca (MS), respectivamente, para o primeiro e segundo ano.

Foram coletadas as plantas inteiras do milho, capim-integra e guatã, realizando-se o corte a 20 cm do solo, respeitando a altura residual, utilizando roçadeira costal. Para a avaliação da produção de massa seca e da proporção do material ensilado (Tabela 2), o material colhido foi separado e pesado para determinar a proporção de milho, gramínea e

leguminosa. Em seguida o material foi colocado em estufa a 55°C até atingir peso constante, sendo posteriormente determinado o peso seco e realizado a conversão para kg ha<sup>-1</sup>.

**Tabela 2.** Proporção de material ensilado do milho, capim-integra e guatã em monocultivo e consorciado, no primeiro e segundo ano.

| Sistema de cultivo      | Proporção de material ensilado (%) |       |       |                    |       |       |
|-------------------------|------------------------------------|-------|-------|--------------------|-------|-------|
|                         | Primeiro Ano (2025)                |       |       | Segundo Ano (2026) |       |       |
|                         | M                                  | B     | G     | M                  | B     | G     |
| Milho em monocultivo    | 100                                | 0     | 0     | 100                | 0     | 0     |
| Integra em monocultivo  | 0                                  | 100   | 0     | 0                  | 100   | 0     |
| Guatã em monocultivo    | 0                                  | 0     | 100   | 0                  | 0     | 100   |
| Integra + guatã         | 0                                  | 49,02 | 50,97 | 0                  | 43,09 | 56,90 |
| Milho + integra         | 75,72                              | 24,27 | 0     | 74,34              | 25,65 | 0     |
| Milho + guatã           | 74,99                              | 0     | 25,00 | 68,69              | 0     | 31,32 |
| Milho + integra + guatã | 60,45                              | 19,38 | 20,15 | 55,53              | 19,16 | 25,30 |

M: milho; B: *Brachiaria ruziziensis* cv. BRS Integra; G: feijão guandu cv. BRS Guatã.

O material coletado foi picado em triturador forrageiro, obtendo-se partículas de 10 a 30 mm. Em seguida, o material foi armazenado em silos experimentais de PVC, com 10 cm de diâmetro e 40 cm de altura, sendo compactado manualmente utilizando um pêndulo de madeira, fechados com tampas de PVC e lacrados com fita adesiva, de forma a impedir a entrada de ar. Posteriormente, os silos foram armazenados à temperatura ambiente e protegidos da luz solar.

Foram realizadas análises do material *in natura* (antes da silagem), para a caracterização bromatológica dos diferentes sistemas de cultivo, sendo uma amostra de 0,5 kg do material fresco foi colocado em estufa a 55°C até obter o peso constante. Posteriormente o material foi triturado em moinho, sendo determinados os teores de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), lignina, extrato etéreo (EE), cinzas, de acordo com as metodologias descritas pela AOAC (1990). Fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA), foram determinados conforme Mertens (2002). Os nutrientes digestíveis totais (NDT) foram estimados por meio da equação proposta por Chandler (1990). Para a determinação da digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS), foi utilizada a técnica descrita por Tilley e Terry (1963), adaptada ao rúmen

artificial, utilizando o equipamento Daisy incubator® (ANKON Technology), pelo método *in vitro* true digestibility (IVTD). Os resultados dessas análises, para os dois anos de condução da pesquisa, são apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3.** Características bromatológicas do milho, capim-integra e guatã em monocultivo e consorciado, antes da ensilagem, nos dois anos de avaliação.

|                         | MS                             | PB    | EE    | MM    | FDN   | FDA   | Lignina | NDT   | DIVMS |
|-------------------------|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|
| Sistemas de cultivo     | ----- g kg <sup>-1</sup> ----- |       |       |       |       |       |         |       |       |
|                         | Primeiro Ano (2025)            |       |       |       |       |       |         |       |       |
| Milho em monocultivo    | 350,4                          | 84,99 | 42,18 | 38,84 | 534,5 | 311,6 | 29,73   | 688,5 | 682,6 |
| Integra em monocultivo  | 267,5                          | 113,2 | 16,11 | 87,69 | 700,9 | 375,2 | 39,33   | 575,3 | 587,4 |
| Guatã em monocultivo    | 282,4                          | 163,6 | 13,98 | 62,03 | 624,8 | 485,3 | 35,28   | 627,0 | 596,5 |
| Integra + Guatã         | 277,8                          | 121,2 | 18,90 | 85,52 | 648,8 | 391,4 | 37,53   | 610,8 | 619,5 |
| Milho + Integra         | 301,2                          | 93,95 | 22,58 | 64,98 | 611,3 | 323,3 | 36,68   | 636,2 | 610,3 |
| Milho + Guatã           | 303,9                          | 109,9 | 26,28 | 50,22 | 606,6 | 318,7 | 30,19   | 639,4 | 595,0 |
| Milho + Integra + Guatã | 319,6                          | 119,8 | 28,85 | 50,97 | 595,3 | 346,9 | 33,92   | 647,1 | 633,1 |
|                         | MS                             | PB    | EE    | MM    | FDN   | FDA   | Lignina | NDT   | DIVMS |
| Sistemas de cultivo     | ----- g kg <sup>-1</sup> ----- |       |       |       |       |       |         |       |       |
|                         | Segundo Ano (2026)             |       |       |       |       |       |         |       |       |
| Milho em monocultivo    | 351,8                          | 82,40 | 43,40 | 34,25 | 553,5 | 275,5 | 25,63   | 675,6 | 665,9 |
| Integra em monocultivo  | 261,4                          | 108,9 | 16,92 | 73,93 | 672,6 | 405,0 | 32,00   | 594,6 | 592,5 |
| Guatã em monocultivo    | 284,2                          | 167,6 | 14,07 | 66,94 | 692,0 | 493,4 | 39,98   | 581,3 | 583,2 |
| Integra + Guatã         | 287,4                          | 112,1 | 19,22 | 80,00 | 652,8 | 449,0 | 36,87   | 608,0 | 590,0 |
| Milho + Integra         | 306,1                          | 93,39 | 23,62 | 66,11 | 613,4 | 359,7 | 34,92   | 634,8 | 621,1 |
| Milho + Guatã           | 310,9                          | 108,7 | 27,50 | 46,34 | 619,7 | 313,9 | 31,49   | 630,5 | 600,4 |
| Milho + Integra + Guatã | 317,9                          | 117,1 | 29,31 | 52,03 | 608,7 | 354,4 | 34,66   | 638,0 | 631,0 |

MS: matéria seca; PB: proteína bruta; EE: extrato etéreo; DIVMS: digestibilidade *in vitro* da matéria seca; FDN: fibra em detergente neutro; FDA: fibra em detergente ácido; NDT: nutrientes digestíveis totais.

Após 50 dias de fermentação, para os dois anos, os silos foram abertos, descartando-se a porção superior e a inferior de cada unidade experimental. A porção central do silo foi homogeneizada e colocada em bandejas de plástico. Parte da silagem, após abertura dos silos, foi separada para analisar os parâmetros fermentativos, incluindo pH, nitrogênio amoniacal (N-NH<sub>3</sub>) e capacidade tampão, conforme metodologia descrita por Silva e Queiroz (2002). As perdas por gases, efluentes e recuperação da matéria seca foram determinadas seguindo metodologia proposta por Jobim *et al.* (2007). Os ácidos orgânicos foram quantificados utilizando um cromatógrafo líquido de alta eficiência

(HPLC) Shimadzu SPD-10A VP acoplado a um detector UV ajustado para 210 nm, conforme descrito por Kung Jr. e Shaver, (2001).

Outra parte da silagem, correspondente a aproximadamente 0,5 kg, foi pesada e levada para estufa de ventilação forçada a 55°C até atingir massa constante. Posteriormente, as amostras foram moídas e armazenadas em recipientes de plástico. Em seguida, foram realizadas as análises químico-bromatológicas da silagem, conforme descrito anteriormente para o material *in natura*.

Após a colheita para confecção da silagem, no primeiro ano da pesquisa dos diferentes sistemas de cultivo, houve a rebrota do integra e guatã, que foram conduzidas no período de entressafra (entre os meses de junho a agosto), com cortes sucessivos, simulando pastejo. Em agosto de 2025, foi realizado o último corte das forrageiras, que ficaram em descanso para rebrota. Posteriormente, em outubro de 2025 foi realizado dessecação, visando a formação de biomassa de cobertura do solo para o plantio direto da soja. Após a colheita da soja em fevereiro de 2026, o segundo ano da pesquisa foi semeado na mesmas área e parcelas, após a análise de solo e devidas correções.

## **2.7. Análise de custo**

Foi realizada análise de custo, utilizando o método de custeio variável, conforme proposto por Padoveze (2010). Nesse método, foram considerados na mensuração dos custos variáveis dos produtos apenas aqueles que variam em função do volume de produção, como sementes, fertilizantes, inseticidas, fungicidas, mão de obra variável e outros custos variáveis de produção. Com base nesse método, foram comparados os custos variáveis unitários, com o objetivo de identificar a alternativa de menor custo. Os preços dos itens foram baseados em cotações do mercado Rio Verde, Goiás, Brasil, no período de condução da pesquisa

## **2.8. Análise Estatística**

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), considerando os sistemas de cultivo como parcelas e os anos de avaliação como subparcelas. Quando observadas diferenças significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, adotando-se nível de significância de 5% ( $p < 0,05$ ), utilizando o software R (versão 4.3.1; R Core Team, 2023).

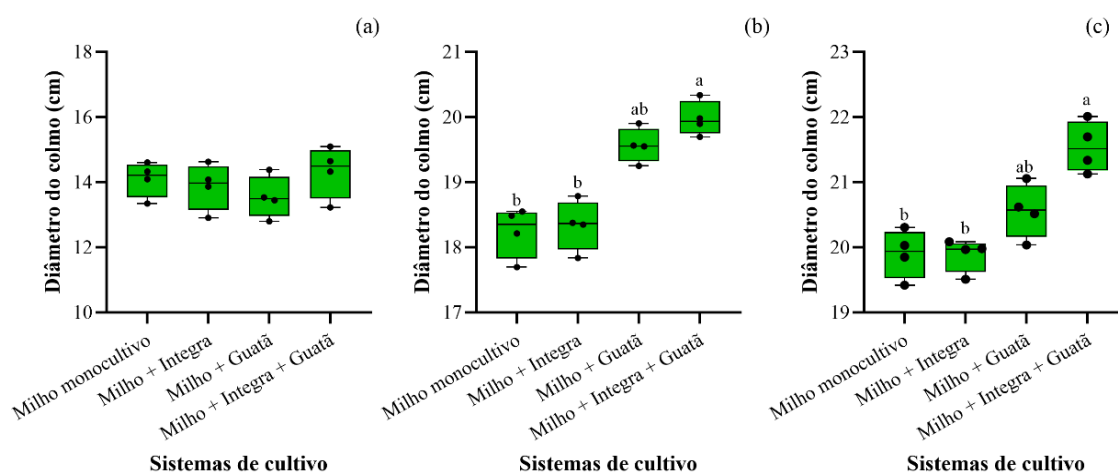
As análises de componentes principais (PCA) e correlação de Pearson foram elaboradas através do software R-4.3.1 (R Core Team, 2023), com os pacotes "tidyverse"

para manipulação de banco de dados, "stats" para análise e "factoextra" para representação gráfica.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Características agronômicas e clorofila do milho, capim-integra e guatã

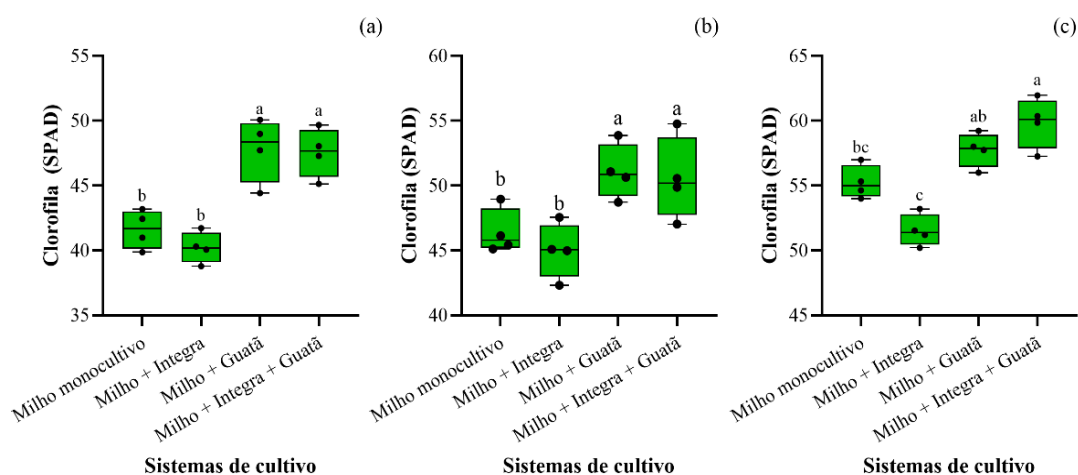
Houve efeito significativo ( $p < 0,05$ ) dos sistemas de cultivo (Figuras 4 e 5) e dos anos de cultivo (Tabela 4), avaliados isoladamente, sobre o diâmetro do colmo, altura de plantas e teor de clorofila aos 30, 60 e 90 dias após a semeadura (DAS) e altura de inserção da primeira espiga do milho. Os maiores diâmetros do colmo foram obtidos nos sistemas de cultivo de milho consorciado com integra e guatã, seguido do milho consorciado com guatã, avaliados aos 60 e 90 DAS. O diâmetro do colmo avaliado aos 30 DAS não apresentou diferença significativa entre os sistemas (Figura 4).



**Figura 4.** Diâmetro do colmo do milho em monocultivo e consorciado, aos 30 (a), 60 (b) e 90 (c) dias após a semeadura, médias de dois anos de avaliação.

Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si de acordo com o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). DAS: dias após a semeadura.

Os maiores valores de clorofila do milho foram observados nos sistemas de cultivo de milho consorciado com integra e guatã, seguido do milho consorciado com guatã, aos 30 e 60 DAS, enquanto aos 90 DAS o milho e guatã não diferiu do milho em monocultivo. Para a clorofila do milho em monocultivo e do milho consorciado com capim-integra, houve redução média de 14,15%, 10,06% e 9,19%, aos 30, 60 e 90 DAS, em relação aos sistemas com a presença do guatã (Figura 5).



**Figura 5.** Valores de clorofila do milho em monocultivo e consorciado aos 30 (a), 60 (b) e 90 (c) dias após a semeadura, médias de dois anos de avaliação.

Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si de acordo com o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). DAS: dias após a semeadura.

Quando avaliou os anos, o segundo ano resultou em aumento de 17,15% na altura da planta aos 30 DAS. No entanto, aos 60 e 90 DAS houve redução na altura de planta e inserção da primeira espiga, em comparação ao primeiro ano (Tabela 4).

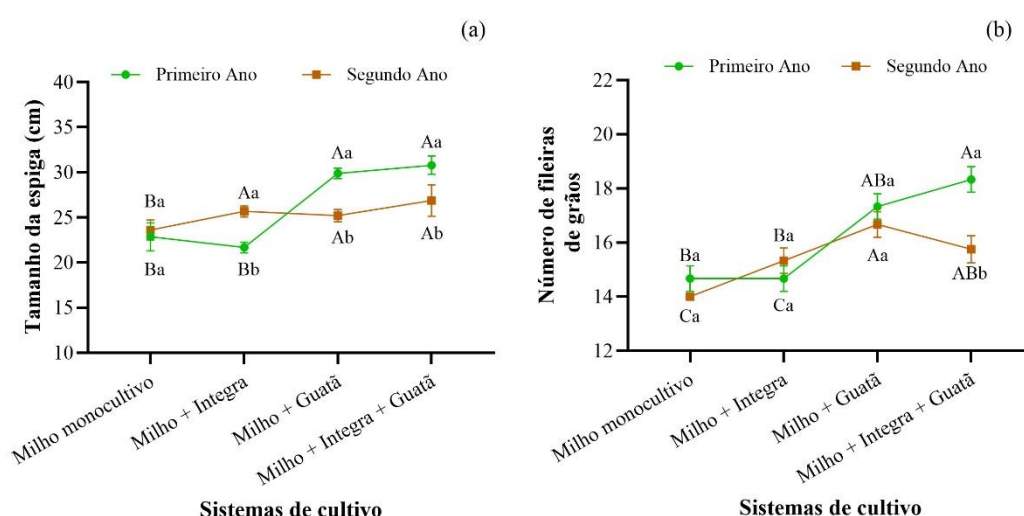
**Tabela 4.** Altura de plantas, altura de inserção da primeira espiga do milho, no primeiro e segundo ano, independentemente do sistema de cultivo, avaliadas aos 30, 60 e 90 dias após a semeadura (DAS).

| Ano de cultivo | Altura de plantas milho (cm) | Altura de plantas milho (cm)         |
|----------------|------------------------------|--------------------------------------|
|                | 30 DAS                       | 60 DAS                               |
| Primeiro       | 50,37 b                      | 231,42 a                             |
| Segundo        | 60,80 a                      | 213,24 b                             |
| P-valor        | $p < 0,001$                  | $p < 0,001$                          |
| EPM            | 1,349                        | 2,782                                |
| Ano de cultivo | Altura de plantas milho (cm) | Altura de inserção da 1ª espiga (cm) |
|                | 90 DAS                       |                                      |
| Primeiro       | 256,53 a                     | 73,42 a                              |
| Segundo        | 235,54 b                     | 64,73 b                              |
| P-valor        | $p < 0,001$                  | $p < 0,001$                          |
| EPM            | 0,334                        | 0,843                                |

Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si de acordo com o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

EPM: erro padrão da média; DAS: dias após a semeadura

A Figura 6 demonstra a interação entre sistemas de cultivo e anos. Para o tamanho da espiga (Figura 6a), ao comparar os sistemas de cultivo, no primeiro ano, o consórcio de milho + integra + guatã e milho + guatã apresentaram aumento de 26,58%% em comparação aos demais sistemas. No segundo ano, os sistemas consorciados apresentaram aumento de 8,90% em relação ao milho em monocultivo. Avaliando os anos em cada sistema o milho + guatã e milho + integra + guatã no segundo ano, apresentaram reduções de 15,61% e 12,71%, respectivamente, em comparação com o primeiro ano. Já o milho + integra no segundo ano apresentou aumento de 15,57% em comparação com o primeiro ano.



**Figura 6.** Interação entre sistemas de cultivo e anos para tamanho da espiga (a) e número de fileiras de grãos (b) do milho em monocultivo e consorciado.

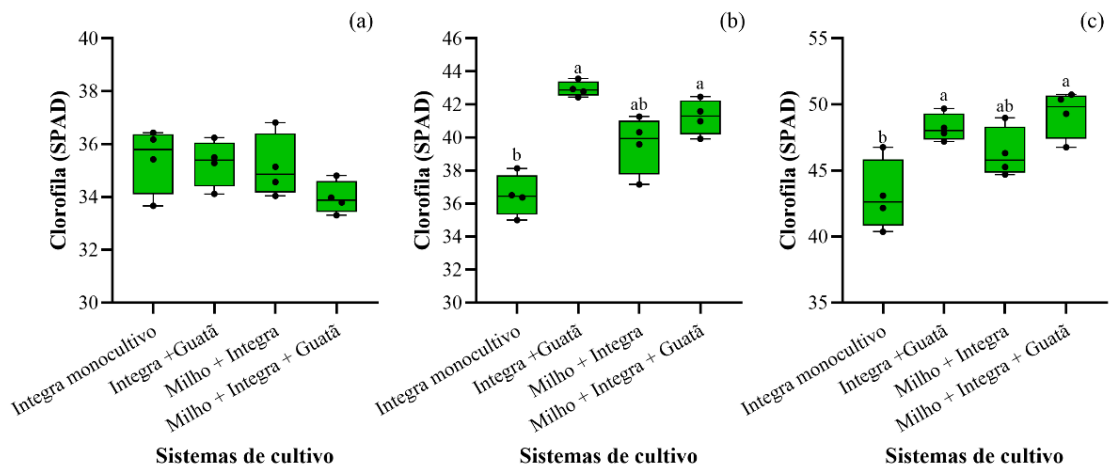
Letras maiúsculas comparam sistemas de cultivo no mesmo ano e letras minúsculas comparam anos no sistema de cultivo.

Para o número de fileira de grãos (Figura 6b), ao comparar os sistemas de cultivo, no primeiro ano, o milho + integra + guatã e milho + guatã apresentaram os maiores valores. Já no segundo ano, milho + guatã apresentou o maior valor seguido do milho + integra + guatã. Já em relação aos anos nos sistemas, apenas o milho + integra + guatã apresentou diferença significativa, com redução de 14,08% no número de fileira de grãos de milho, no segundo ano em relação ao primeiro.

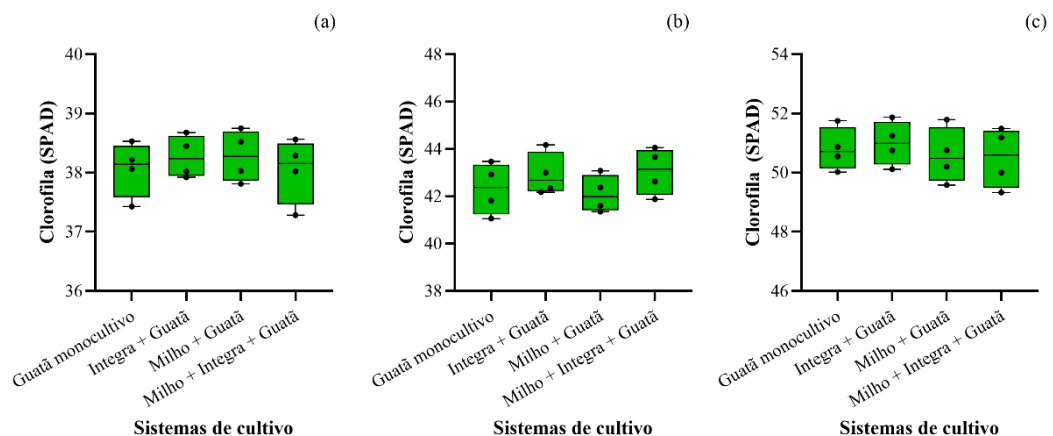
Avaliando as características agrônômicas do integra e guatã, foi possível observar influência ( $p < 0,05$ ) dos diferentes sistemas apenas para a clorofila aos 30, 60 e 90 DAS

do integra (Figura 7), enquanto o guatã não apresentou efeito significativo dos sistemas (Figura 8). Para a altura de plantas, houve efeito dos anos de cultivo para o capim integra e guatã (Tabela 5).

Os maiores valores de clorofila foram observados no integra + guatã e milho + integra + guatã, avaliados aos 60 e 90 DAS. Para a clorofila avaliado aos 30 DAS não houve diferença significativa entre os sistemas (Figura 7).



**Figura 7.** Valores de clorofila do integra em monocultivo e consorciado, aos 30 (a), 60 (b) e 90 (c) dias após a semeadura, médias de dois anos de avaliação. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si de acordo com o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). DAS: dias após a semeadura.



**Figura 8.** Valores de clorofila do guatã em monocultivo e consorciado, aos 30 (a), 60 (b) e 90 (c) dias após a semeadura, médias de dois anos de avaliação. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si de acordo com o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). DAS: dias após a semeadura

Para a altura das plantas do integra, a comparação entre os anos de cultivo (Tabela 5) mostrou que, no segundo ano, houve aumento de 16,89% na altura aos 30 DAS em relação ao primeiro ano. Aos 60 e 90 DAS, não foram observadas diferenças entre os anos. Para o Guatã, o segundo ano de cultivo proporcionou aumentos de 17,98% e 16,37% na altura das plantas aos 60 e 90 DAS, respectivamente, em comparação com o primeiro ano (Tabela 5).

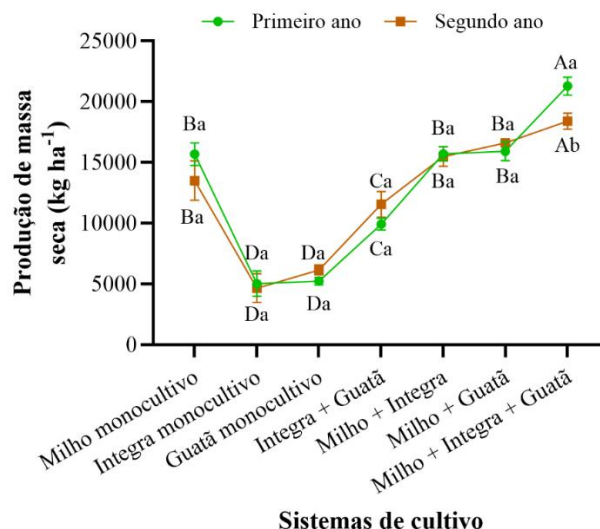
**Tabela 5.** Altura de plantas do integra e guatã no primeiro e segundo ano, independentemente do sistema de cultivo, aos 30, 60 e 90 DAS.

| Ano de cultivo | Alturas de plantas  |                     |                     |
|----------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                | Integra 30 DAS (cm) | Integra 60 DAS (cm) | Integra 90 DAS (cm) |
| Primeiro       | 30,01 b             | 72,05 a             | 74,3 a              |
| Segundo        | 36,11 a             | 72,36 a             | 76,3 a              |
| P-valor        | p < 0,05            | 1,653               | 0,149               |
| EPM            | 1,936               | 0,897               | 0,925               |
| Ano de cultivo | Alturas de plantas  |                     |                     |
|                | Guatã 30 DAS (cm)   | Guatã 60 DAS (cm)   | Guatã 90 DAS (cm)   |
| Primeiro       | 37,10 a             | 100,19 b            | 150,58 b            |
| Segundo        | 35,87 a             | 122,16 a            | 180,07 a            |
| P-valor        | 0,603               | p < 0,001           | p < 0,001           |
| EPM            | 1,641               | 2,472               | 1,802               |

Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si de acordo com o teste de Tukey (p < 0,05).

EPM: erro padrão da média; DAS: dias após a semeadura

A Figura 9 demonstra a interação entre sistemas de cultivo e anos, para produção de massa seca. O consórcio triplo apresentou as maiores produções em ambos os anos, atingindo 21.292,5 e 18.405,1 kg ha<sup>-1</sup> no primeiro e segundo ano, respectivamente. Os sistemas de milho em monocultivo, milho + integra e milho + guatã apresentaram produções intermediárias, enquanto os monocultivos de integra e guatã apresentaram os menores valores, no primeiro e segundo ano. Ao analisar o efeito dos anos em cada sistema de cultivo, observou-se que houve diferença significativa apenas para o milho + integra + guatã, com redução de 13,56% na produção de massa seca, no segundo ano em relação ao primeiro (Figura 9).

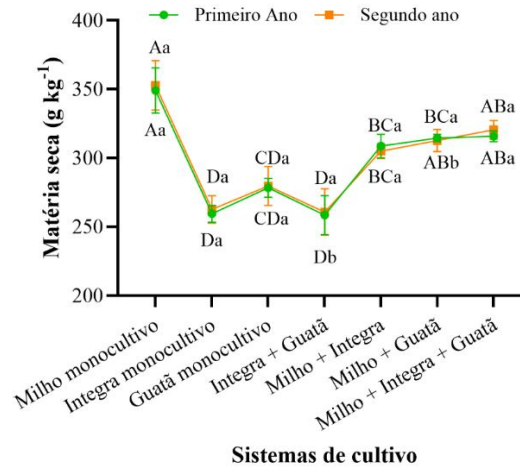


**Figura 9.** Interação entre sistemas de cultivo e anos para produção de massa seca do milho, integra e guatã em monocultivo e consorciado.

Letras maiúsculas comparam sistemas de cultivo no mesmo ano e letras minúsculas comparam anos dentro do sistema de cultivo.

### 3.2 Características fermentativas

O perfil fermentativo das silagens foi influenciado pelos sistemas de cultivo e, para algumas variáveis, observou-se interação entre sistemas e anos. Em ambos os anos, a silagem de milho em monocultivo apresentou os maiores teores de matéria seca (MS), enquanto os menores valores foram observados nos monocultivos do integra e guatã, bem como no consórcio entre essas duas forrageiras (Figura 10). Os sistemas consorciados do milho + integra, milho + guatã e milho + integra + guatã apresentaram maiores teores de MS em comparação aos sistemas constituídos apenas pelas forrageiras tropicais. Entre os anos avaliados, verificou-se diferença significativa apenas para a silagem do integra + guatã e milho + guatã, nos quais o segundo ano apresentou, respectivamente, menor e maior teor de matéria seca em relação ao primeiro, enquanto os demais sistemas mantiveram comportamento semelhante entre os anos.



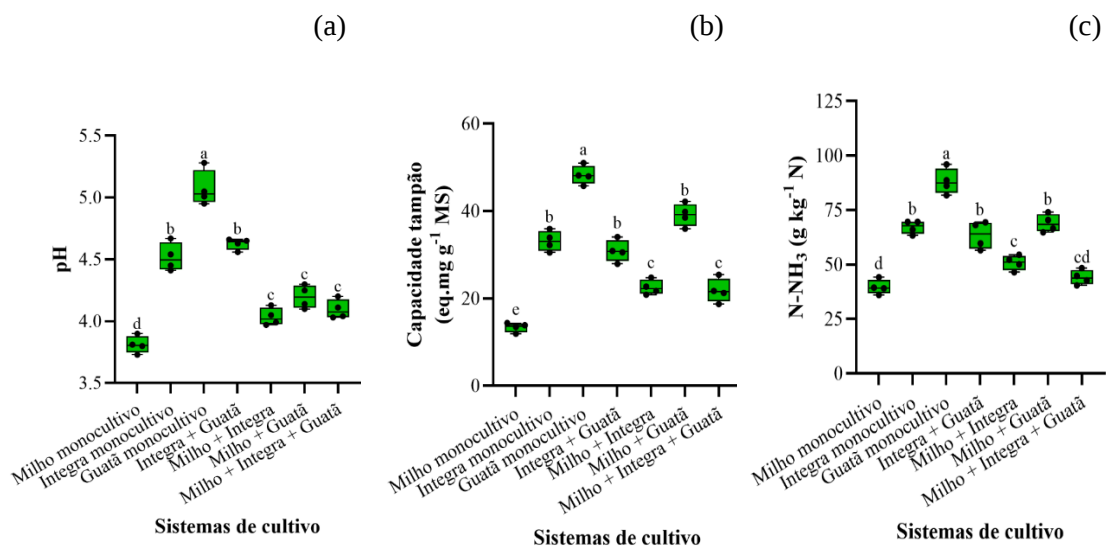
**Figura 10.** Interação entre sistemas de cultivo e anos para teor de matéria seca da silagem de milho, integra e guatã em monocultivo e consorciado.

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Letras maiúsculas comparam sistemas de cultivo no mesmo ano e letras minúsculas comparam anos no sistema de cultivo.

Para o pH da silagem, os maiores valores foram obtidos na silagem do guatã em monocultivo, seguido do integra em monocultivo e do consórcio integra + guatã, enquanto a silagem de milho em monocultivo apresentou o menor valor (Figura 11a). Os sistemas consorciados do milho + integra, milho + guatã e milho + integra + guatã, apresentaram menores valores de pH em comparação aos sistemas constituídos exclusivamente pelas forrageiras tropicais, aproximando-se do observado na silagem de milho em monocultivo.

O maior valor da capacidade tampão foi observado na silagem do guatã em monocultivo, seguida do integra + guatã, enquanto o milho em monocultivo apresentou menor valor. Os sistemas consorciados contendo milho apresentaram redução da capacidade tampão em relação às silagens produzidas exclusivamente com as forrageiras tropicais (Figura 11b). Assim como observado para o pH, não houve diferença entre os anos de avaliação para a capacidade tampão.

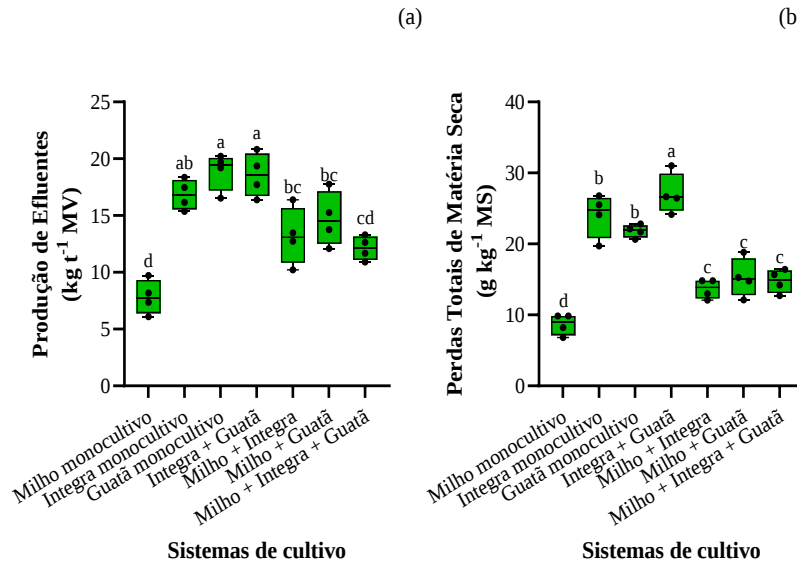


**Figura 11.** pH (a), capacidade tampão (b) e N-NH<sub>3</sub> (c) da silagem de milho, integra e guatã, em monocultivo e consorciado, médias de dois anos de avaliação.

Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

O N-NH<sub>3</sub> seguiu comportamento semelhante ao da capacidade tampão (Figura 11c). A silagem do guatã em monocultivo apresentou o maior valor, seguida da silagem de integra em monocultivo e do consórcio integra + guatã. Em contrapartida, o milho em monocultivo apresentou menor N-NH<sub>3</sub>, enquanto os consórcios contendo milho foram eficientes em reduzir o N-NH<sub>3</sub> em comparação as silagens produzidas apenas com as forrageiras tropicais.

As silagens de integra e guatã em monocultivo e integra + guatã consorciada, obtiveram maiores produções de efluente, diferindo dos outros sistemas. Em contrapartida, o milho em monocultivo apresentou o menor valor e os sistemas consorciados do milho + integra, milho + guatã e milho + integra + guatã apresentaram valores intermediários (Figura 12a).



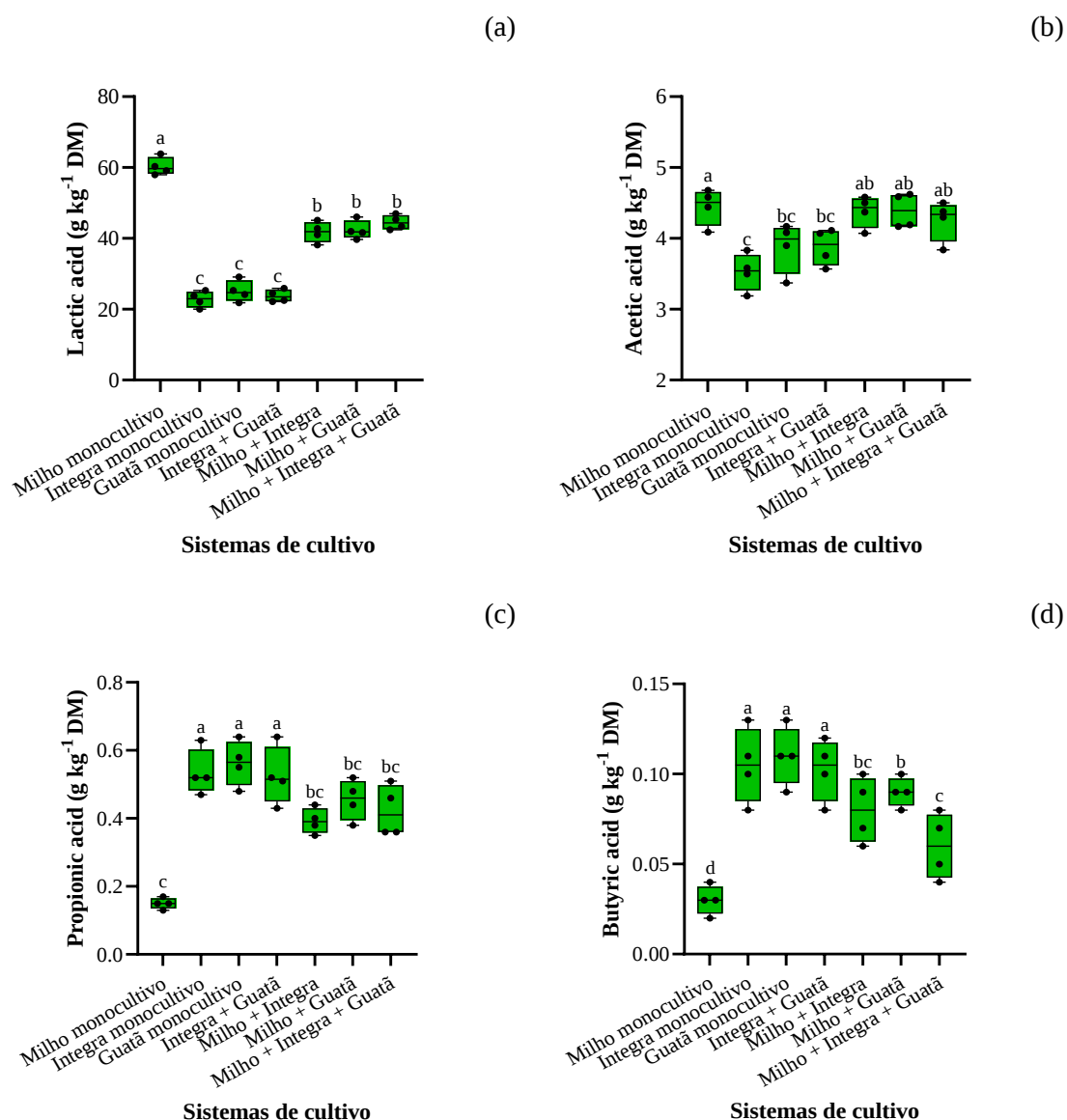
**Figura 12.** Produção de efluentes (a) e perdas totais de matéria seca (b) da silagem de milho, integra e guatã em monocultivo e consorciado, médias de dois anos de avaliação. Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Letras maiúsculas comparam sistemas de cultivo no mesmo ano e letras minúsculas comparam anos no sistema de cultivo.

Comportamento semelhante foi observado para as perdas totais de matéria seca (Figura 12b). A silagem do integra + guatã apresentou as maiores perdas, seguidos pelos monocultivos dessas forrageiras, enquanto a silagem de milho em monocultivo apresentou o menor valor. Da mesma forma, os consórcios que incluíram milho foram eficientes em reduzir as perdas de matéria seca em relação aos sistemas de monocultivos exclusivamente pelas forrageiras tropicais, evidenciando maior estabilidade fermentativa dessas silagens. Na comparação entre os anos, os resultados de produção de efluente e perdas totais de matéria seca foram semelhantes para todos os sistemas, e o efeito do ano foi pouco expressivo.

Os ácidos orgânicos apresentaram efeito significativo apenas entre as silagens dos sistemas de cultivo. Para o ácido láctico (Figura 13a), ácido acético (Figura 13b), a silagem de milho em monocultivo apresentou o maior valor, enquanto os sistemas de consorciados contendo milho apresentaram valores intermediários, seguidos pelos monocultivos e integra + guatã.

Para o ácido propiônico e ácido butírico (Figura 13c e 13d), os monocultivos e consórcio do integra e guatã apresentaram os maiores valores. Já os consórcios com o

milho foram eficientes em reduzir a concentração desses ácidos.



**Figura 13.** Ácido láctico (a), acético (b), propiônico (c) e butírico (d) da silagem de milho, integra e guatã, em monocultivo e consorciado (médias de dois anos).

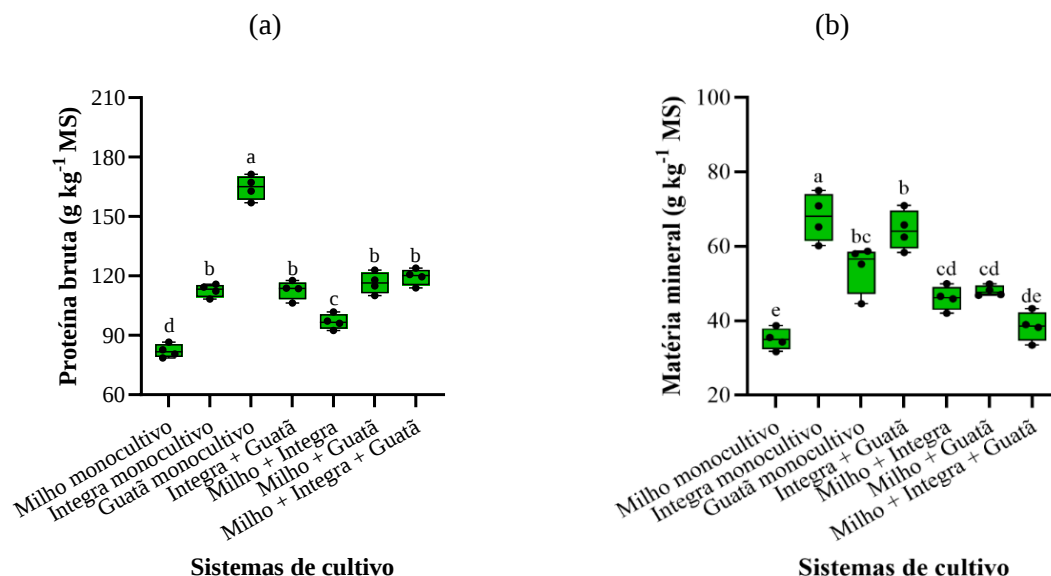
Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

### 3.3 Características bromatológicas

A silagem de guatã em monocultivo apresentou o maior teor de PB, enquanto o menor valor foi observado no milho em monocultivo. A presença do guatã nos sistemas consorciados elevou os teores de PB em relação ao milho em monocultivo e milho + integra, embora os valores tenham permanecidos abaixo daqueles obtidos no guatã cultivado isoladamente (Figura 14a).

Para matéria mineral, os maiores teores foram registrados nas silagens de integra

+ guatã em monocultivo. Entre os sistemas consorciados, os menores valores foram obtidos no milho + integra + guatã (Figura 14b).

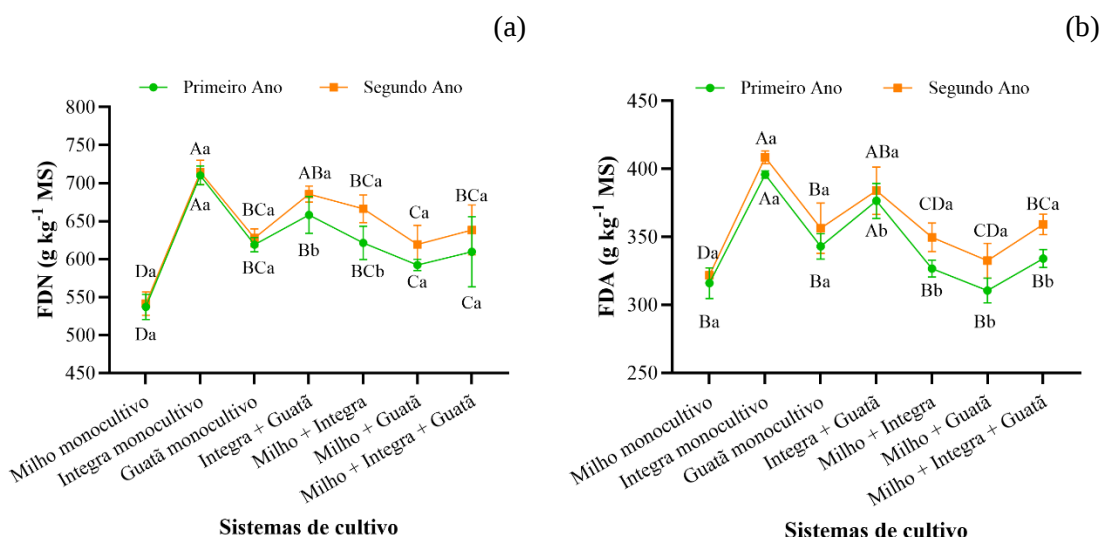


**Figura 14.** Teores de proteína bruta (a) e matéria mineral (b) da silagem de milho, integra e guatã em monocultivo e consorciado (médias de dois anos).

Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Os teores de FDN e FDA das silagens foram influenciados pela interação entre os sistemas de cultivo e os anos (Figura 15a e 15b). Em ambos os anos, o maior teor foi registrado na silagem do integra em monocultivo, enquanto o milho em monocultivo apresentou a menor fração. A associação do milho com as forrageiras tropicais também resultou em menor teores de FDN em comparação aos sistemas constituídos exclusivamente por integra + guatã.

Na comparação entre os anos, não foram observadas diferenças significativas para os teores de FDN nos monocultivos de milho, integra e guatã. Em contrapartida, os consórcios do integra + guatã, milho + integra, milho + guatã e milho + integra + guatã apresentaram maiores teores de FDN no segundo ano em relação ao primeiro, indicando que a resposta desses sistemas variou entre os ciclos experimentais (Figura 15a).



**Figura 15.** Interação entre sistemas de cultivo e anos para teores de FDN (a) e FDA (b) da silagem de milho, integra e guatã em monocultivo e consorciado, nos dois anos de avaliação.

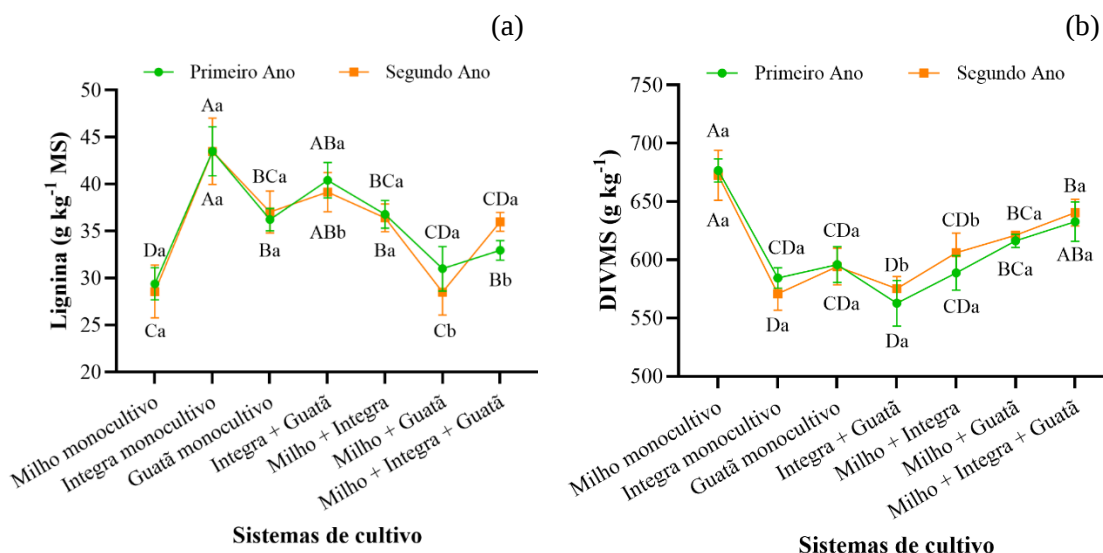
Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Letras maiúsculas comparam sistemas de cultivo no mesmo ano e letras minúsculas comparam anos no sistema de cultivo.

Para os teores de FDA, em ambos os anos, o maior valor foi obtido na silagem de integra em monocultivo, não diferindo do integra + guatã, mas sendo superior aos demais sistemas com o milho. O milho em monocultivo apresentou o menor teor de FDA. Já o guatã em monocultivo, milho + integra, milho + guatã e milho + integra + guatã apresentaram valores variando entre 311 e 344 g kg<sup>-1</sup> MS para o primeiro ano e entre 350 e 356 g kg<sup>-1</sup> MS, para o segundo ano (figura 15b).

A interação entre sistema de cultivo e ano também foi significativa para os teores de lignina e a DIVMS (Figuras 15a e 15b). No primeiro ano, o maior acúmulo de lignina ocorreu na silagem de integra em monocultivo (43,5 g kg<sup>-1</sup> MS), enquanto o milho em monocultivo apresentou o menor valor (29,3 g kg<sup>-1</sup> MS). No segundo ano, o integra permaneceu com maior teor (43,5 g kg<sup>-1</sup> MS), porém os menores valores foram registrados nas silagens de milho + guatã e o milho em monocultivo (Figura 16a).

Na comparação entre os anos, diferenças significativas foram observadas apenas nos consórcios milho + guatã, que apresentou maior teor de lignina no primeiro ano, e milho + integra + guatã, cujo maior valor foi registrado no segundo ano. Os demais sistemas de cultivo não diferiram entre os anos de avaliação.



**Figura 16.** Interação entre sistemas de cultivo e anos para teores de lignina (a) e DIVMS (b) da silagem de milho, integra e guatã em monocultivo e consorciado, nos dois anos de avaliação.

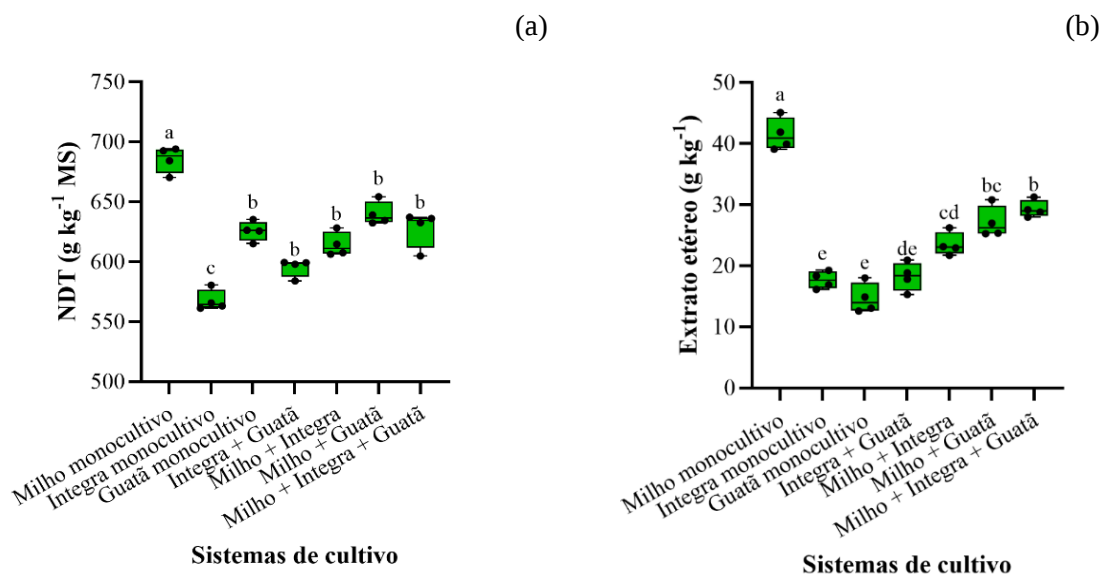
Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Letras maiúsculas comparam sistemas de cultivo no mesmo ano e letras minúsculas comparam anos no sistema de cultivo.

No primeiro e segundo ano, a silagem do milho em monocultivo apresentou a maior DIVMS ( $675 \text{ g kg}^{-1}$  e  $670 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$ ), respectivamente, enquanto os menores valores foram observados na silagem do integra em monocultivo e integra + guatã (Figura 16b).

Quando se compara os anos, diferenças significativas foram observadas apenas para a silagem do milho + integra, que apresentou maior DIVMS no segundo ano, e milho + integra + guatã, cujo maior valor foi registrado no primeiro ano. Os demais sistemas de cultivo não diferiram entre os anos.

O milho em monocultivo também se destacou quanto ao valor energético das silagens, apresentando o maior teor de NDT, enquanto o integra em monocultivo apresentou menor valor. Os consórcios mantiveram teores estatisticamente semelhantes aos observados no guatã em monocultivo e inferiores ao milho cultivado isoladamente, indicando que a associação entre o cereal e as forrageiras possibilitou manter níveis de NDT relativamente elevados. Não foram observadas diferenças entre anos, evidenciando a estabilidade dessas características entre os dois ciclos experimentais (Figura 17a).

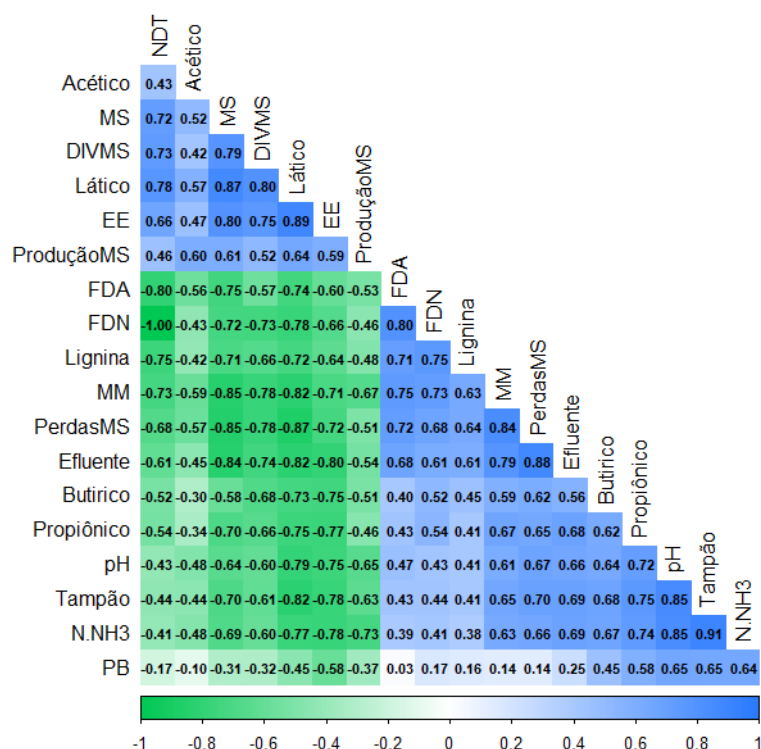


**Figura 17.** Teores de NDT (a) e extrato etéreo (b) da silagem de milho, integra e guatã, em monocultivo e consorciado (médias de dois anos).

Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

A silagem do integra em monocultivo apresentou o menor teor de extrato etéreo, diferindo dos outros sistemas. Os consórcios com milho foram eficientes em aumentar os teores de extrato etéreo, sendo superior a silagem de integra e guatã em monocultivo e consorciado.

A análise de correlação de Pearson (Figura 18), demonstrou correlações altas e positivas ( $r > 0,70$ ) entre NDT, Acético, MS, DIVMS, Lático, EE e ProduçãoMS e entre os parâmetros fermentativos e frações fibrosas da silagem (N.NH<sub>3</sub>, pH, Tampão, Efluente, PerdasMS, Butírico, Propiônico, MM, FDN, FDA e Lignina), indicando que estas variáveis estão diretamente correlacionadas. Por outro lado, NDT, Acético, MS, DIVMS, Lático, EE e ProduçãoMS apresentaram correlações negativas variando de intermediárias a altas com as demais variáveis.

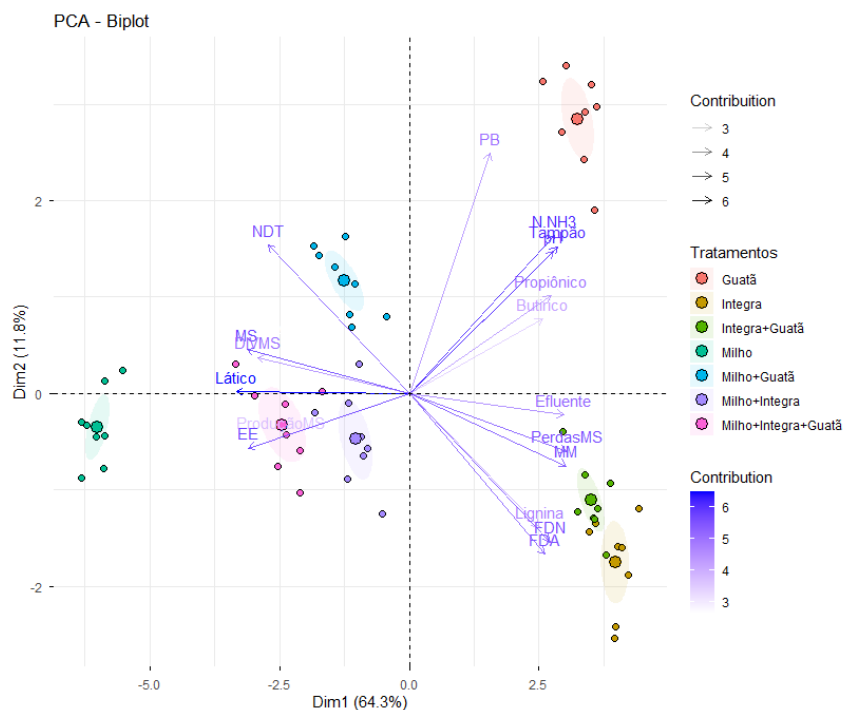


**Figura 18.** Correlação de Pearson entre os parâmetros avaliados. Correlações positivas são representadas por fundos azuis, enquanto correlações negativas são mostradas com fundos verdes.

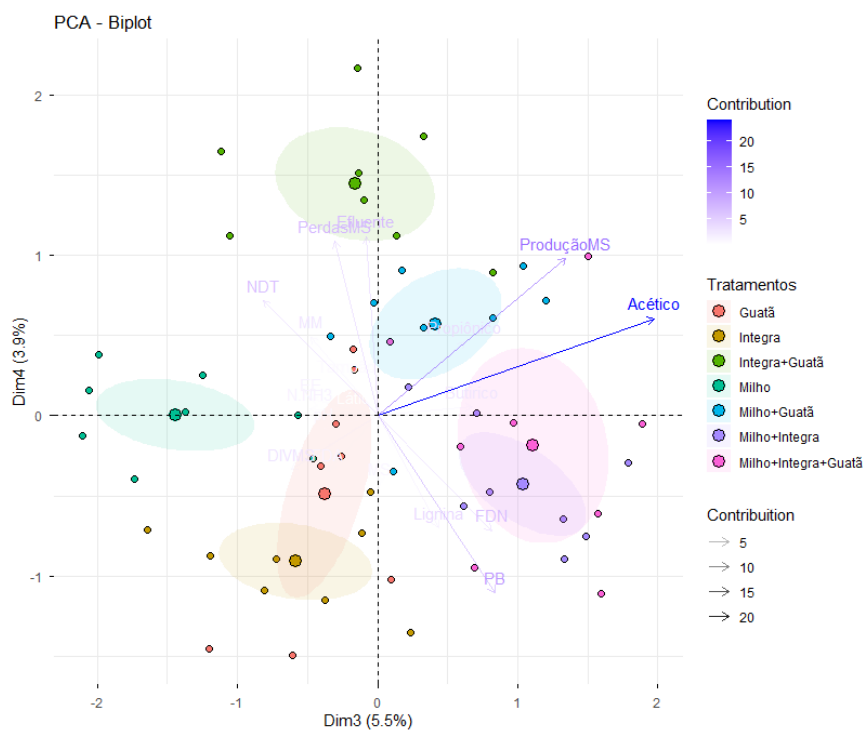
Parâmetros: pH, Tampão: capacidade tampão, N.NH3: nitrogênio amoniacal, MS: matéria seca, Efluente: produção de efluente: Perdas MS: perdas de matéria seca, Lático: ácido lático, Acético: ácido acético, Butírico: ácido butírico, Propiônico: ácido propiônico, PB: proteína bruta, MM: matéria mineral, EE: extrato etéreo, NDT: nutrientes digestíveis totais, FDN: fibra em detergente neutro, FDA: fibra em detergente ácido, Lignina, DIVMS: digestibilidade *in vitro* da matéria seca.

A análise de componentes principais (PCA), foi determinada através da relação entre os parâmetros avaliados e as descrições dos tratamentos, com o número de componentes principais igual ao número de variáveis. No presente estudo, dos 19 componentes identificados, os quatro primeiros apresentaram autovalores superiores a 1, explicando de forma conjunta 85,5% da variação total dos dados (Figura 19).

(a)



(b)



**Figura 19.** Diagramas de dispersão bidimensionais da análise de componentes principais para o primeiro e segundo (a) e terceiro e quarto (b) componentes principais, mostrando os escores para 19 variáveis relacionadas a produção de massa seca ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), perfil

fermentativo e valor nutritivo da silagem de milho, integra e guatã em monocultivo e consorciado.

Parâmetros: pH, Tampão: capacidade tampão, N.NH<sub>3</sub>: nitrogênio amoniacal, MS: matéria seca, Efluente: produção de efluente: PerdasMS: perdas de matéria seca, Lático: ácido lático, Acético: ácido acético, Butírico: ácido butírico, Propiônico: ácido propiônico, PB: proteína bruta, MM: matéria mineral, EE: extrato etéreo, NDT: nutrientes digestíveis totais, FDN: fibra em detergente neutro, FDA: fibra em detergente ácido, Lignina, DIVMS: digestibilidade *in vitro* da matéria seca.

O primeiro componente (deslocamento no eixo horizontal), explicou 64,3% da variância, com correlação positiva forte ( $r \geq 0,70$ ) com MS, Lático, Acético, DIVMS, ProduçãoMS NDT e EE e correlação negativa forte ( $r \geq 0,70$ ) com pH, Tampão, N.NH<sub>3</sub>, Efluente, PerdasMS, Propiônico, Butírico, MM, FDN, FDA e Lignina. Já o segundo componente (deslocamento no eixo vertical) explicou 11,8% da variância, apresentando correlação moderada positiva ( $0,30 < |r| \leq 0,70$ ) com FDN, FDA e Lignina e negativa ( $0,30 < |r| \leq 0,70$ ) com pH, Tampão, N.NH<sub>3</sub>, PB e NDT (Figura 17a). Já o terceiro e quarto componentes explicaram 5,5 e 3,9% da variância, respectivamente (Figura 19b). Correlação moderada positiva ( $0,30 < |r| \leq 0,70$ ) foi observada apenas no terceiro componente com Acético e ProduçãoMS.

### 3.4 Análise de custo

Ao estimar o custo de produção por hectare (Tabela 6), no primeiro e segundo ano, os maiores custos foram observados nos sistemas de milho + integra + guatã e no milho + integra, que apresentaram, respectivamente, custo de R\$ 3338,47 ha<sup>-1</sup> e R\$ 3334,22 ha<sup>-1</sup>, para o primeiro ano e R\$ 3494,30 ha<sup>-1</sup> e R\$ 3486,10 ha<sup>-1</sup>, para o segundo ano. O milho em monocultivo apresentou custo de R\$ 3246,86 ha<sup>-1</sup> e R\$ 3384,10 ha<sup>-1</sup> no primeiro e segundo ano, respectivamente. Já o milho + guatã apresentou custo de R\$ 2884,90 ha<sup>-1</sup> e 1672,00, nos respectivos anos. Os menores custos nos dois anos, foram para o integra e guatã em monocultivo e em consórcio, com custo variando de R\$ 1479,90 ha<sup>-1</sup> a R\$ 1824,35 ha<sup>-1</sup>.

O consórcio triplo do milho + integra + guatã apresentou custo variável unitário de R\$ 0,16 kg<sup>-1</sup> e R\$ 0,19 kg<sup>-1</sup>, no primeiro e segundo ano, respectivamente. Custos esses inferiores ao milho em monocultivo (R\$ 0,21 kg<sup>-1</sup> para o primeiro ano e R\$ 0,25 kg<sup>-1</sup>, segundo ano), além disso, esse sistema aumentou a produção de massa seca (21292,53 kg ha<sup>-1</sup> no primeiro ano e 18405,10 kg ha<sup>-1</sup> no segundo ano), quando comparado ao milho

em monocultivo que apresentou produção de massa seca 15688,68 kg ha<sup>-1</sup> e 13520,53 kg ha<sup>-1</sup>, para o primeiro e segundo ano, respectivamente.

O sistema do milho + guatã apresentou custo unitário para o primeiro ano de R\$ 0,18 kg<sup>-1</sup> e de R\$ 0,19 kg<sup>-1</sup> para o segundo ano, com produção de massa seca de 15.919,75 kg ha<sup>-1</sup> e 16621,35 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Já o milho + integra apresentou custo unitário (R\$ 0,21 kg<sup>-1</sup>) semelhante ao monocultivo de milho no primeiro ano e de R\$ 0,22 kg<sup>-1</sup> no segundo ano.

**Tabela 6.** Custo de produção (R\$ ha<sup>-1</sup>) e produção de massa seca (kg ha<sup>-1</sup>) da silagem de milho, capim-integra e guatã, em monocultivo e consorciado, em dois anos de avaliação.

| Sistema de cultivo      | Ano 1                   |                             |                         |
|-------------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------|
|                         | Custo*                  | Produção de massa           | Custo **                |
|                         | (R\$ ha <sup>-1</sup> ) | seca (kg ha <sup>-1</sup> ) | (R\$ kg <sup>-1</sup> ) |
| Milho monocultivo       | 3246,86                 | 15688,68                    | 0,21                    |
| Integra monocultivo     | 1707,96                 | 5030,47                     | 0,34                    |
| Guatã monocultivo       | 1479,90                 | 5231,10                     | 0,28                    |
| Integra + Guatã         | 1567,26                 | 9928,22                     | 0,16                    |
| Milho + Integra         | 3334,22                 | 15719,23                    | 0,21                    |
| Milho + Guatã           | 2884,90                 | 15919,75                    | 0,18                    |
| Milho + Integra + Guatã | 3338,47                 | 21292,53                    | 0,16                    |
| Sistema de cultivo      | Ano 2                   |                             |                         |
|                         | Custo                   | Produção de massa           | Custo **                |
|                         | (R\$ ha <sup>-1</sup> ) | seca (kg ha <sup>-1</sup> ) | (R\$ kg <sup>-1</sup> ) |
| Milho monocultivo       | 3384,10                 | 13520,53                    | 0,25                    |
| Integra monocultivo     | 1824,35                 | 4666,52                     | 0,39                    |
| Guatã monocultivo       | 1570,00                 | 6160,80                     | 0,25                    |
| Integra + Guatã         | 1672,00                 | 11568,60                    | 0,14                    |
| Milho + Integra         | 3486,10                 | 15496,23                    | 0,22                    |
| Milho + Guatã           | 3231,75                 | 16621,35                    | 0,19                    |
| Milho + Integra + Guatã | 3494,30                 | 18405,10                    | 0,19                    |

\*Preços cotados no mercado de Rio Verde, Goiás, Brasil. \*\* custo por kg de massa seca.

#### 4. DISCUSSÃO

A adoção de sistemas consorciados possibilita maior aproveitamento da área agrícola ao combinar espécies com diferentes padrões de crescimento e exploração dos

recursos, favorecendo o uso mais eficiente dos recursos disponíveis e a intensificação da produção em uma mesma área (Maitra *et al.*, 2021; Lai *et al.*, 2022; Qiu *et al.*, 2025). Os maiores diâmetros de colmos e clorofila do milho observados milho + guatã e milho + integra + guatã indicam que a presença da leguminosa favoreceu o desenvolvimento fisiológico e estrutural do milho em comparação ao monocultivo e ao consórcio de milho + integra. Esse comportamento pode ser explicado pelos efeitos de complementaridade e compensação frequentemente observados em sistemas consorciados envolvendo leguminosas (Raseduzzaman & Jesen, 2017).

Calonego *et al.* (2026) ressaltaram que o diâmetro do colmo possui elevada importância agrônômica, por estar associada à sustentação da planta, à resistência ao acamamento e à capacidade de suportar maiores cargas de espigas. Esses mesmos autores reportaram que o milho consorciado com feijão guandu apresenta maior acúmulo de nitrogênio (N), sugerindo que a presença da leguminosa favoreceu a disponibilidade desse nutriente no sistema e contribuiu para o desenvolvimento da cultura do milho. Estudo desenvolvido por Feng *et al.* (2024) observaram que o cultivo consorciado melhora a nodulação da leguminosa, estimulando maior fixação biológica do N, quando comparado com o monocultivo. Em contrapartida, Souza *et al.* (2024) relataram que o consórcio milho mais braquiária pode reduzir a produtividade do milho em até 5,6%, principalmente durante as fases iniciais de desenvolvimento, em razão da competição por luz e da redução da expansão foliar, comprometendo a produção de fotoassimilados. Zhang *et al.* (2025) verificaram também que alterações na disponibilidade de recursos promovidas pelo consórcio resultaram em diferenças significativas no crescimento e nos componentes produtivos do milho, reforçando que o desempenho reprodutivo da cultura é altamente dependente das interações estabelecidas entre as espécies cultivadas.

A superioridade da clorofila no sistema do guatã, coincide com os maiores valores de diâmetro do colmo observados aos 60 e 90 DAS, refletindo em melhor estado fisiológico das plantas, devido à complementaridade no uso dos recursos e à melhoria das condições nutricionais da cultura do milho, em decorrência da presença da leguminosa. Aproximadamente 50 a 70% do N foliar está associado às moléculas de clorofila e às proteínas do aparato fotossintético, desta forma, plantas com melhor estado nutricional tendem a apresentar maiores leituras de clorofila e maior capacidade fotossintética (Guo *et al.*, 2014; Li *et al.*, 2025).

As condições climáticas exercem impacto direto sobre o desenvolvimento e a produtividade das culturas, principalmente nos períodos iniciais do desenvolvimento

(Vennam *et al.*, 2023; Xu *et al.*, 2025). Embora a temperatura média ambiental tenha permanecido semelhante nos dois anos de avaliação, as condições hídricas diferiram entre os períodos iniciais de desenvolvimento da cultura (Figura 2). No primeiro ano, durante os primeiros meses de desenvolvimento (fevereiro e março) foi registrado um volume pluviométrico de 312,5 mm, que apresentou redução de 155,5 mm ao observado no segundo (468 mm), condição que provavelmente limitou o crescimento das plantas de milho e a altura de inserção da 1ª espiga (Tabela 4). Diversos estudos demonstraram que a disponibilidade hídrica nos primeiros estádios vegetativos influencia diretamente a expansão foliar, o acúmulo de biomassa e o desenvolvimento morfofisiológico da cultura, refletindo posteriormente nos componentes produtivos da espiga (Kumdee *et al.*, 2023; Li *et al.*, 2025; Calonego *et al.*, 2026). Essa condição também influenciou a altura de plantas do integra e guatã (Tabela 5).

O maior tamanho de espiga observado no milho + integra + guatã e número de fileiras de grãos, do milho + guatã e milho + integra + guatã em ambos os anos, demonstra que a associação simultânea das espécies forrageiras favoreceu o desenvolvimento reprodutivo do milho. Esse comportamento pode estar relacionado à complementaridade entre as espécies, uma vez que a leguminosa contribui para o aporte biológico de N ao sistema (Salinas-Roco *et al.*, 2024), enquanto o integra favorece a cobertura do solo e a manutenção da umidade no solo (Sobrinho *et al.*, 2022). Esse comportamento é coerente com os resultados observados anteriormente para diâmetro do colmo e teor de clorofila, indicando que as plantas cultivadas nesse sistema apresentaram melhor desempenho fisiológico ao longo do ciclo.

O segundo ano de cultivo resultou em menor tamanho das espigas no segundo ano para milho + guatã e milho + integra + guatã e no número de fileira de grãos para o sistema de milho + integra + guatã (Figura 6). Esse resultado demonstra que, embora o segundo ano tenha favorecido o crescimento inicial vegetativo das plantas, conforme relatado anteriormente e demonstrado na Tabela 4, a falta de chuva na fase de enchimento dos grãos apresenta impacto direto na produtividade, causada pela prolongação entre o intervalo da antese e a emissão da espiga, reduzindo o desenvolvimento das espigas (Deribe, 2024).

Os maiores valores de clorofila do integra com a presença do guatã, corroboram com os achados para esta mesma variável analisada no milho. A presença da leguminosa no sistema de produção contribui para aumentar a disponibilidade de N, e como mencionado anteriormente, plantas com melhor estado nutricional apresentam maior

clorofila nas folhas (Li *et al.*, 2025).

A produção de silagem em sistemas integrados tem demonstrado nas pesquisas, que o consórcio de cereais com gramíneas e/ou leguminosas, aumentam a produção massa de silagem, por meio da integração das culturas no sistema de cultivo (Ligoski *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2024; Muglia *et al.*, 2025). No presente estudo, os sistemas consorciados contendo milho apresentaram maiores produção de massa seca em comparação aos monocultivos do integra, guatã e no consórcio entre essas forrageiras. Além disso, o consórcio triplo do milho + integra + guatã destacou-se por manter maiores produção de massa seca em ambos os anos de avaliação, evidenciando a estabilidade desse sistema ao longo dos ciclos experimentais.

Esse comportamento pode ser explicado pela complementaridade funcional entre as espécies consorciadas. A associação entre gramíneas e leguminosas favorece a ocupação de diferentes nichos ecológicos, promovendo maior interceptação da radiação solar, exploração mais eficiente do perfil do solo e melhor aproveitamento de água e nutrientes, fatores que contribuem para maior produção de fitomassa (Fu *et al.*, 2023). Além disso, a elevada participação do milho na massa ensilada contribui para o aumento do teor de matéria seca, favorecendo o processo fermentativo e reduzindo perdas durante a ensilagem.

Resultados semelhantes foram reportados por Calonego *et al.* (2026), que observaram incremento de aproximadamente 13% na produção de forragem para ensilagem com a inclusão de leguminosas em sistemas integrados com o milho. Além dos benefícios relacionados à produção de silagem, o consórcio duplo e triplo possibilita a formação de pastagem após a colheita do milho, mantendo a cobertura do solo durante a entressafra, favorecendo a ciclagem de nutrientes e contribuindo para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas em regiões tropicais (Silva *et al.*, 2025). Nesse contexto, a inserção de leguminosas também representa uma alternativa para aumentar a oferta biológica de nitrogênio ao sistema, reduzindo parcialmente a dependência de fertilizantes minerais e tornando os sistemas de produção mais resilientes e eficientes (Soares *et al.*, 2026).

A melhoria do perfil fermentativo observada nas silagens produzidas nos sistemas consorciados contendo milho, evidencia o potencial da integração de espécies para otimizar o processo de ensilagem. Em ambos os anos de avaliação, esses sistemas apresentaram maiores teores de matéria seca e menores valores de pH, capacidade tampão, nitrogênio amoniacal, produção de efluentes e perdas de matéria seca em comparação às silagens produzidas exclusivamente com integra e guatã. A consistência

desses resultados entre os dois ciclos experimentais demonstra que os benefícios da integração foram mantidos ao longo do tempo, conferindo maior estabilidade ao processo fermentativo.

O teor de matéria seca representa um dos principais fatores determinantes da qualidade da silagem, uma vez que influencia diretamente a compactação da massa, a atividade microbiana e a intensidade das fermentações indesejáveis (Yi *et al.*, 2023). No presente estudo, a silagem de milho em monocultivo e os consórcios do milho + integra, milho + guatã e milho + integra + guatã apresentaram teores de matéria seca superiores a 300 g kg<sup>-1</sup> de MS durante os dois anos de avaliação, faixa considerada adequada para obtenção de silagens de milho de boa qualidade (McDonald *et al.*, 1991). Em contrapartida, as silagens do integra e guatã em monocultivo, bem como do consórcio entre essas forrageiras, apresentaram menores teores de matéria seca, indicando maior umidade da forragem no momento da ensilagem.

A elevada umidade favorece a produção de efluentes e aumenta as perdas de nutrientes solúveis, comprometendo o valor nutritivo da silagem (Yi *et al.*, 2023; Marques *et al.*, 2025). Esse comportamento foi confirmado pelos resultados obtidos neste estudo, nos quais as silagens constituídas exclusivamente pelas forrageiras tropicais apresentaram maiores produções de efluentes e maiores perdas de matéria seca, enquanto a inclusão do milho reduziu significativamente essas perdas. Esses resultados corroboram com Assadi-Fakhrnejad *et al.* (2026), que destacaram a manutenção de teores adequados de matéria seca como um dos principais fatores para minimizar a lixiviação de nutrientes e preservar a qualidade da silagem.

A superioridade fermentativa dos sistemas contendo milho também foi evidenciada pelos menores valores de pH, capacidade tampão e nitrogênio amoniacal. Segundo Prado *et al.* (2023) e Liu *et al.* (2025), gramíneas tropicais e, principalmente, leguminosas apresentam elevada capacidade tamponante, advinda da combinação do elevado teor de proteína, minerais, fibra e ácidos orgânicos, gerados no processo fermentativo desta cultura (Leon-Tinoco *et al.*, 2025), soma-se a isso as menores concentrações de carboidratos solúveis, dificultando a rápida acidificação da massa ensilada e favorece a proteólise durante a fermentação. Consequentemente, silagens produzidas exclusivamente com essas espécies tendem a apresentar maior produção de amônia, pior conservação e maiores perdas após a abertura dos silos.

A dinâmica dos ácidos orgânicos observada neste estudo contribui para explicar a redução do pH nos sistemas contendo milho. O milho em monocultivo apresentou a maior

concentração de ácido láctico, enquanto os consórcios contendo o cereal apresentaram valores intermediários e superiores aos observados no integral e guatã em monocultivo. A maior concentração desse ácido está relacionada à disponibilidade de carboidratos fermentescíveis no milho, que favorece a atividade de bactérias ácido-láticas e a conservação desses substratos em ácido láctico, promovendo rápida acidificação da massa ensilada (Wang *et al.*, 2022). Assim, a maior produção de ácido láctico nos sistemas contendo milho está diretamente relacionada aos menores valores de pH observados nesses tratamentos. De forma semelhante, o milho em monocultivo apresentou a maior concentração de ácido acético, seguindo pelos consórcios contendo o cereal. Embora esse ácido possa contribuir para a inibição de leveduras e bolores e para a estabilidade aeróbica da silagem, sua concentração deve ser interpretada conjuntamente aos demais produtos da fermentação, não constituindo, isoladamente, indicador de maior eficiência fermentativa (Jiang *et al.*, 2020).

Em contrapartida, os maiores valores de ácido propiônico e, principalmente, de ácido butírico foram obtidos na silagem do integral e guatã em monocultivo e consorciado. O ácido propiônico apresenta ação inibitória sobre leveduras e bolores, podendo contribuir para a estabilidade aeróbica, portanto, seu aumento não deve ser interpretado isoladamente como indicativo de fermentação indesejável. Já a maior concentração de ácido butírico nos sistemas sem milho é mais relevante para explicar a menor eficiência fermentativa desses materiais, uma vez que esse ácido está associado à atividade de microrganismos indesejáveis, especialmente bactérias do gênero *Clostridium*. A alta umidade presente nas forrageiras tropicais reduz a concentração de açúcares solúveis e dilui os ácidos produzidos, impedindo a queda rápida de pH necessária para inibir os *Clostridium* (Zheng *et al.*, 2024). A ocorrência desse tipo de fermentação pode intensificar a degradação de nutrientes e aumentar as perdas de MS (Freitas *et al.*, 2025; Ma *et al.*, 2025).

A análise das características bromatológicas destacou que a silagem de guatã em monocultivo apresentou o maior teor de proteína bruta. Leguminosas através de sua relação simbiótica com bactérias do solo conhecidas coletivamente como rizóbios realizam a fixação biológica de nitrogênio (N), levando ao acúmulo de N em seus tecidos e, conseqüentemente, a maior concentração de proteína bruta (Castro-Montoya e Dickhoefer, 2020). Entretanto, já foi discutido anteriormente que a ensilagem dessa espécie de forma isolada apresenta limitações que podem comprometer a qualidade final do alimento. Portanto, os resultados do presente estudo reforçam a evidência que a

utilização de leguminosa em consórcio com o milho constitui uma estratégia promissora para melhorar o valor nutritivo das silagens. Uma vez que os sistemas consorciados de cereais e leguminosa combinam as características desejáveis do milho, para a fermentação e conservação e os teores satisfatórios de proteína bruta da leguminosa (Liu *et al.*, 2025). Adicionalmente a presença de gramínea forrageira no sistema contribui para o aumento da massa ensilada (Ligoski *et al.*, 2020; Prado *et al.*, 2023; Silva *et al.*, 2024). Assim, a utilização de consórcios entre milho, gramínea e leguminosa representa uma estratégia promissora para aumentar o aporte proteico da dieta animal sem comprometer a produtividade e a qualidade da silagem.

Em relação à matéria mineral, os maiores teores foram observados nas silagens integra e guatã em monocultivo, bem como no consórcio entre essas forrageiras. Esse comportamento pode ser explicado, em parte, pelas maiores perdas de matéria seca registradas nesses sistemas durante o processo fermentativo. Como a deterioração da silagem afeta predominantemente a fração orgânica da forragem, ocorre redução proporcional da matéria orgânica, enquanto a quantidade absoluta de minerais permanece praticamente inalterada, elevando a concentração relativa na matéria seca (Borreani *et al.*, 2018). Adicionalmente, gramíneas tropicais e leguminosas apresentam, naturalmente, maiores concentrações de minerais quando comparadas aos cereais, podendo atingir valores duas a três vezes superiores aos observados no milho (Prado *et al.*, 2023). Esse conjunto de fatores explica os maiores teores de matéria mineral observados nas silagens produzidas exclusivamente com forrageiras tropicais.

As menores concentrações de FDN, FDA e lignina observadas nas silagens dos sistemas consorciados com milho, em ambos os anos de avaliação, podem ser atribuídas à elevada participação dessa cultura na composição da massa ensilada (Tabela 2) e à menor concentração de componentes estruturais em relação integra e guatã. Embora alguns consórcios tenham apresentado incremento nas frações fibrosas no segundo ano, especialmente para FDN e FDA, o padrão de resposta entre os sistemas foi mantido, evidenciando que a presença do milho exerceu efeito predominante na redução da fibra estrutural da silagem. Tang *et al.* (2018) destacaram que FDN e FDA constituem importantes indicadores da qualidade da forragem, uma vez que menores teores dessas frações estão associadas ao maior valor nutritivo e ao melhor aproveitamento pelos animais. Esse comportamento também foi observado por Liu *et al.* (2025), que relataram redução da fibra estrutural em consórcios envolvendo milho e leguminosas perenes, atribuída ao efeito de diluição promovido pela maior participação do cereal na massa

ensilada.

Os resultados de DIVMS corroboram esse comportamento, demonstrando que a redução das frações fibrosas favoreceu o aproveitamento da matéria seca pelos microrganismos ruminais. Em ambos os anos, as silagens contendo maior proporção de milho apresentaram maiores coeficientes de digestibilidade, enquanto as silagens constituídas exclusivamente por forrageiras tropicais apresentaram os menores valores. Mesmo com pequenas variações entre os anos em alguns sistemas consorciados, a relação inversa entre FDN, FDA e lignina com a digestibilidade foi mantida. O aumento da parede celular limita a degradação ruminal da forragem, reduzindo tanto o consumo voluntário quanto a digestibilidade da matéria seca (Erdal *et al.* (2016). Resultados semelhantes foram relatados por Silva *et al.* (2024), reforçando que a inclusão do milho em sistemas consorciados melhora o valor nutritivo da silagem, ao reduzir os componentes estruturais e aumentar o potencial de utilização pelos ruminantes.

Os maiores teores de NDT observados na silagem de milho em monocultivo evidenciam a superior qualidade energética, enquanto o aumento da FDA nos monocultivos de integra e guatã explica a redução do valor energético dessas silagens, em razão da menor digestibilidade da parede celular (Ferreira *et al.*, 2023). Apesar disso, os sistemas consorciados mantiveram valores intermediários de NDT, indicando que a associação entre milho, gramínea e leguminosa favoreceu melhor equilíbrio entre energia e proteína. Esse comportamento corrobora os resultados de Silva *et al.* (2024) e Costa Araujo *et al.* (2023), que também relataram manutenção do valor energético em silagens consorciadas com predominância de milho.

A ausência de efeito dos anos de avaliação sobre os teores de NDT demonstra que os sistemas de cultivo apresentaram estabilidade na qualidade energética da silagem ao longo dos dois ciclos experimentais. Esse comportamento sugere que as diferenças observadas entre os tratamentos foram determinadas principalmente pela composição botânica dos sistemas de cultivo, e não pelas variações climáticas entre os anos.

Os maiores teores de extrato etéreo observados na silagem de milho em monocultivo podem ser atribuídos à elevada participação de espigas e, principalmente, de grãos na massa ensilada, uma vez que os lipídios se encontram concentrados no gérmen do grão de milho, contribuindo significativamente para o incremento da densidade energética da silagem (Wang *et al.* 2021). Em contrapartida, gramíneas e leguminosas tropicais apresentam baixa concentração de lipídios em seus tecidos vegetativos, uma vez que a fração lipídica representa pequena proporção da matéria seca dessas espécies,

diferentemente do milho, cujos grãos concentram a maior parte dos lipídios da planta (Castro-Montoya & Dickhoefer, 2020; Wang *et al.*, 2021).

Os sistemas consorciados apresentaram valores intermediários de extrato etéreo, demonstrando que a participação do milho foi suficiente para elevar essa fração nutricional, mantendo simultaneamente os benefícios proporcionados pela inclusão da gramínea e da leguminosa. O extrato etéreo é importante para a nutrição de ruminantes, por contribuir para o aporte energético e para o equilíbrio entre proteína e energia na dieta, sendo desejáveis teores de até 100 g kg<sup>-1</sup> de matéria seca, dessa forma, esses resultados reforçam a importância da produção de silagens mistas para favorecer o equilíbrio nutricional do alimento (Oliveira *et al.*, 2021).

A análise multivariada (Figuras 17, 18a e 18b) revelou padrões importantes que reforçam os resultados dessa pesquisa. A análise de correlação e de PCA indicaram que maiores frações fibrosas se associam a fermentações menos eficientes com correlações altas e positivas entre si. A correlação negativa dessas variáveis com MS, Lático, Acético, DIVMS, ProduçãoMS, NDT e EE demonstram que silagens com maiores teores de matéria seca, favorecem processos fermentativos adequados que reduzem as perdas de nutrientes e preservam as características do material ensilado, sendo bem aproveitado pelos animais (Prado *et al.*, 2023; Liu *et al.*, 2025).

A análise de custos revelou que o consórcio milho + integra + guatã apresentou maior eficiência econômica na produção de massa seca, proporcionando aumento na produção em relação ao milho em monocultivo, associado à redução do custo variável unitário de R\$ 0,21 para R\$ 0,16 kg<sup>-1</sup>. Esses resultados demonstram que o maior investimento por hectare no sistema consorciado foi compensado pela maior produção de massa seca, resultando em menor custo por unidade de produto. A diversificação de culturas reduz o risco econômico, uma vez que contribuem para o aumento da produção (Luo *et al.*, 2024), assim como observado nessa pesquisa. A inclusão da leguminosa no sistema, contribui para a economia de fertilizantes, principalmente os nitrogenados, em razão da fixação biológica do nitrogênio (Feng *et al.*, 2024). Essa estratégia é particularmente relevante do ponto de vista econômico, uma vez que o nitrogênio é um dos nutrientes de maior importância para a produtividade do milho e sua aplicação representa uma parcela expressiva dos custos de produção (Soares *et al.*, 2026). Vale ressaltar que a rentabilidade dos sistemas pode variar em função das oscilações nos preços de mercado dos insumos, como fertilizantes e sementes, bem como das variações no valor comercial da forragem, fatores que podem influenciar diretamente a viabilidade da

atividade (Wodire *et al.*, 2025).

## 5. CONCLUSÃO

O sistema de consórcio triplo apresentou a maior produção de massa seca em ambos os anos de avaliação, demonstrando que a integração entre milho, integra e guatã otimiza o uso da área e aumenta a eficiência produtiva. A inclusão do milho nos sistemas consorciados foi fundamental para garantir perfil fermentativo adequado, refletido pelos menores valores de pH, menor capacidade tampão e redução das perdas de matéria seca e de efluentes em comparação às silagens produzidas com forrageiras em monocultivo.

A presença do guatã elevou os teores de proteína bruta da silagem sem comprometer a estabilidade fermentativa, enquanto o milho assegurou elevado valor energético, expresso pelos maiores teores de NDT e reduziu as concentrações de FDN e FDA, favorecendo a digestibilidade do material ensilado.

Sob o ponto de vista econômico, o consórcio triplo destacou-se como a alternativa de maior eficiência econômica na produção de massa seca, proporcionando aumento na produção em relação ao milho em monocultivo, associado à redução do custo variável unitário.

A consistência dos resultados ao longo de dois ciclos agrícolas demonstra que a integração entre culturas energéticas, gramínea e leguminosa constitui uma estratégia sustentável e resiliente, capaz de produzir silagem de qualidade e proporcionar maior rentabilidade aos sistemas de produção agropecuária.

## 6. REFERÊNCIAS

Abrecht, D. G., & Carberry, P. S. (1993). The influence of water deficit prior to tassel initiation on maize growth, development and yield. *Field Crops Research*, 31, 55–69. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(93\)90050-W](https://doi.org/10.1016/0378-4290(93)90050-W)

Adam, A. M., Adam, M., Asch, F., Boote, K. J., Chimonyo, V. G. P., Christina, M., Corbeels, M., Couëdel, A., De Freitas, M., Della Chiesa, T., Ewert, F., Falconnier, G. N., Fuchs, K., Gaiser, T., Giller, K. E., Hoogenboom, G., Huth, N., Jibrin, J. M., Justes, E., Cadisch, G. (2026). The ongoing journey of modelling intercropping systems: A conceptual resource sharing intercomparison from model developers and expert users. *Field Crops Research*, 343. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2026.110491>

AOAC. (1965). Official Methods of Analysis of AOAC International (Número v. 18). AOAC International. <https://books.google.com.br/books?id=tD8bAQAAMAAJ>

Araujo, C. M. C., Jara Galeano, E. S., Orrico Junior, M. A. P., Fernandes, T., Alves, J. P., Retore, M., Silva, M. S. J., Orrico, A. C. A., Garcia, R. A., & Machado, L. A. Z. (2023). Fermentative parameters and chemical composition of mixed silages from corn-crotalaria intercropping. *Animal Feed Science and Technology*, 305. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2023.115779>

Assadi Alamouti, N., & Khorrami, A. (2026). Journal of Animal Production Effects of harvest stage and intercropping on silage quality, effluent production and digestibility of small grain silages Effects of harvest stage and intercropping on silage quality, effluent production and digestibility of small grain silages. *Journal of Animal Production*, 27(4), 389–406. <https://doi.org/10.22059/jap.2025.395986.623848>

Assaf Neto, A. (2000). *Matemática financeira e suas aplicações*. 5. ed. São Paulo: Atlas. 312p.

Augusto, J. G., de Paz, C. C. P., Mendonça, G. G., Moitinho, M. R., Menegatto, L. S., Bolonhezi, D., Salles, M. S. V., & Simili, F. F. (2024). Integrated crop-livestock versus conventional systems: Effects on the chemical and physical characteristics of an Oxisol. *Grass and Forage Science*, 79, 254–264. <https://doi.org/10.1111/gfs.12664>

Borreani, G., Tabacco, E., Schmidt, R. J., Holmes, B. J., & Muck, R. E. (2018). Silage review: Factors affecting dry matter and quality losses in silages. *Em Journal of Dairy Science* (Vol. 101, p. 3952–3979). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13837>

Calonego, J. C., Sereia, R. C., Pariz, C. M., Crusciol, C. A. C., Cruz, I. V., Costa, N. R., Rigon, J. P. G., de Castilhos, A. M., de Lima Meirelles, P. R., Souza, D. M., Bertolino, K. M., & Costa, C. (2026). Impacts of Intercropping Maize–Grass–Legume for Silage Production and Oversowing Black Oat for Lamb Grazing on Soil Fertility. *Grass and Forage Science*, 81. <https://doi.org/10.1111/gfs.70051>

Cardoso, M. R. D., Marcuzzo, F. F. N., & Barros, J. R. (2014). Climatic Classification of Köppen-Geiger For the State of Goiás and Federal District. *Acta Geográfica*, 8, 40–55. <https://doi.org/10.5654/actageo2014.0004.0016>

Carvalho Mendes, I., Martinhão Gomes Sousa, D., Dario Dantas, O., Alves Castro Lopes, A., Bueno Reis Junior, F., Ines Oliveira, M., & Montandon Chaer, G. (2021). Soil quality and grain yield: A win–win combination in clayey tropical oxisols. *Geoderma*, 388, 114880. <https://doi.org/10.1016/J.GEODERMA.2020.114880>

Castro-Montoya, J. M., & Dickhoefer, U. (2020). The nutritional value of tropical legume forages fed to ruminants as affected by their growth habit and fed form: A systematic review. *Em Animal Feed Science and Technology* (Vol. 269). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114641>

Chakraborty, P., Thotakuri, G., Singh, N., Dhaliwal, J. K., & Kumar, S. (2024). Crop-livestock integration influenced soil profile organic carbon and hydro-physical properties in converted grasslands to row crops. *Soil and Tillage Research*, 240. <https://doi.org/10.1016/j.still.2024.106093>

Chandler, P. (1990). Energy prediction of feeds by forage testing explorer. *Feedstuffs*, 62(36), 12.

Delandmeter, M., Basso, B., Fettweis, X., Lacroix, C., Aubry, P., Bindelle, J., & Dumont, B. (2026). Livestock Integration Into Cropping Systems Enhances Their Climate Change Resistance and Mitigation While Reducing Their Environmental Impacts. *Global Change Biology*, 32. <https://doi.org/10.1111/gcb.70765>

Deribe, H. (2025). Review on Effects of Drought Stress on Maize Growth, Yield and Its Management Strategies. *Em Communications in Soil Science and Plant Analysis* (Vol. 56, p. 123–143). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/00103624.2024.2404663>

Erdal, S., Pamukcu, M., Curek, M., Kocaturk, M., & Dogu, O. Y. (2016). Silage yield and quality of row intercropped maize and soybean in a crop rotation following winter wheat. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 62, 1487–1495. <https://doi.org/10.1080/03650340.2016.1153801>

Farias, G. D., Dubeux, J. C. B., Savian, J. V., Duarte, L. P., Martins, A. P., Tiecher, T., Alves, L. A., de Faccio Carvalho, P. C., & Bremm, C. (2020). Integrated crop-livestock system with system fertilization approach improves food production and resource-use efficiency in agricultural lands. *Agronomy for Sustainable Development*, 40. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00643-2>

Feng, C., Du, G., Zhang, Y., Feng, L., Zhang, L., Wang, Q., Xiang, W., Bai, W., Cai, Q., Sun, T., Sun, Z., & Zhang, L. (2024). Maize/Peanut Intercropping Affects Legume Nodulation in Semi-Arid Conditions. *Agronomy*, 14. <https://doi.org/10.3390/agronomy14050951>

Ferreira, G., Thomas, S. E., Teets, C. L., & Corl, B. A. (2023). Intrinsic and Extrinsic Factors Affecting Neutral Detergent Fiber (NDF) Digestibility of Vegetative Tissues in Corn for Silage. *Agriculture (Switzerland)*, 13. <https://doi.org/10.3390/agriculture13081485>

Freitas, I. O. M. A., Gurgel, A. L. C., Queiroz, V. C., de Araújo, M. J., Dias-Silva, T. P., de Souza Miranda, R., do Amarante, L. G. R., de Sousa, S. V., Ítavo, L. C. V., dos Santos Difante, G., & Neto, J. V. E. (2026). Prediction of organic acid concentration in BRS Capiaçú elephant grass silage. *Grassland Science*, 72, 73–81. <https://doi.org/10.1111/grs.70019>

Fu, Z., Chen, P., Zhang, X., Du, Q., Zheng, B., Yang, H., Luo, K., Lin, P., Li, Y., Pu, T., Wu, Y., Wang, X., Yang, F., Liu, W., Song, C., Yang, W., & Yong, T. (2023). Maize-legume intercropping achieves yield advantages by improving leaf functions and dry matter partition. *BMC Plant Biology*, 23. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04408-3>

Galeano, E. S. J., Fernandes, T., Orrico Junior, M. A. P., Alves, J. P., Retore, M., Orrico, A. C. A., Machado, L. A. Z., Vicente, E. F., & Cecon, G. (2022). Tamani grass-legume intercropping can improve productivity and composition of fodder destined to haylage or hay. *Ciência Rural*, 52. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20210482>

Guo, Z., Zhang, Y., Zhao, J., Shi, Y., & Yu, Z. (2014). Nitrogen use by winter wheat and changes in soil nitrate nitrogen levels with supplemental irrigation based on measurement of moisture content in various soil layers. *Field Crops Research*, 164, 117–125. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.05.016>

Herrera, D. M., Peixoto, W. M., Abreu, J. G. de, Reis, R. H. P. dos, Sousa, F. G. de, Balbinot, E., Klein, V. A. C., & Costa, R. P. (2023). Is the Integration between Corn and Grass under Different Sowing Modalities a Viable Alternative for Silage? *Animals*, 13. <https://doi.org/10.3390/ani13030425>

Jensen, E. S., Carlsson, G., & Hauggaard-Nielsen, H. (2020). Intercropping of grain legumes and cereals improves the use of soil N resources and reduces the requirement for synthetic fertilizer N: A global-scale analysis. *Em Agronomy for Sustainable Development* (Vol. 40). Springer. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-0607-x>

Jiang, F. G., Cheng, H. J., Liu, D., Wei, C., An, W. J., Wang, Y. F., Sun, H. T., & Song, E. L. (2020). Treatment of Whole-Plant Corn Silage With Lactic Acid Bacteria and Organic Acid Enhances Quality by Elevating Acid Content, Reducing pH, and Inhibiting Undesirable Microorganisms. *Frontiers in Microbiology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.593088>

Jobim, C. C., Nussio, L. G., Reis, R. A., & Schmidt, P. (2007). Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36, 101–119. <https://doi.org/10.1590/s1516-35982007001000013>

Kumdee, O., Molla, M. S. H., Kanavittaya, K., Romkaew, J., Sarobol, E., & Nakasathien, S. (2023). Morpho-Physiological and Biochemical Responses of Maize Hybrids under Recurrent Water Stress at Early Vegetative Stage. *Agriculture (Switzerland)*, 13. <https://doi.org/10.3390/agriculture13091795>

Kung Jr, L., & Shaver, R. (2001). Interpretation and use of silage fermentation analyses reports. *Focus. Forage*, 3, 1–5.

Lai, H., Gao, F., Su, H., Zheng, P., Li, Y., & Yao, H. (2022). Nitrogen Distribution and Soil Microbial Community Characteristics in a Legume–Cereal Intercropping System: A Review. *Em Agronomy* (Vol. 12). MDPI. <https://doi.org/10.3390/agronomy12081900>

Li, Z., Zhao, Z., Xu, X., Xu, J., Li, J., & Cai, H. (2025). Productivity and Photosynthetic Performance of Maize–Soybean Intercropping Under Different Water and Nitrogen Management Strategies. *Agronomy*, 16, 98. <https://doi.org/10.3390/agronomy16010098>

Ligoski, B., Gonçalves, L. F., Claudio, F. L., Alves, E. M., Krüger, A. M., Bizzuti, B. E., Lima, P. D. M. T., Abdalla, A. L., & Paim, T. D. P. (2020). Silage of intercropping corn, palisade grass, and pigeon pea increases protein content and reduces in vitro methane production. *Agronomy*, 10. <https://doi.org/10.3390/agronomy10111784>

Liu, H., Stomph, T. J., Zhang, Y., Jing, J., & Struik, P. C. (2025). Productivity and silage quality of forage from intercropped silage maize and perennial legumes. *Animal Feed Science and Technology*, 325. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2025.116369>

Locali-Pereira, A. R., Boire, A., Berton-Carabin, C., Taboga, S. R., Solé-Jamault, V., & Nicoletti, V. R. (2023). Pigeon Pea, An Emerging Source of Plant-Based Proteins. *ACS Food Science & Technology*, 3(11), 1777–1799. <https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.3c00268>

Ludkiewickz, M. G., Andreotti, M., Modesto, V. C., Nakao, A. H., Araujo Júnior, O., & Pechoto, E. A. P. (2022). Densidade de semeadura de guandu-anão para produção de silagem de milho safrinha consorciado ou não com capim marandu em cerrado de baixa altitude. *Agrarian*, 15, e15281. <https://doi.org/10.30612/agrarian.v15i55.15281>

Ma, T., Xin, Y., Chen, X., Wen, X., Wang, F., Liu, H., Zhu, L., Li, X., You, M., & Yan, Y. (2025). Effects of Compound Lactic Acid Bacteria Additives on the Quality of Oat and Common Vetch Silage in the Northwest Sichuan Plateau. *Fermentation*, 11.

<https://doi.org/10.3390/fermentation11020093>

Maitra, S., Hossain, A., Brestic, M., Skalicky, M., Ondrisik, P., Gitari, H., Brahmachari, K., Shankar, T., Bhadra, P., Palai, J. B., Jena, J., Bhattacharya, U., Duvvada, S. K., Lalichetti, S., & Sairam, M. (2021). Intercropping—A low input agricultural strategy for food and environmental security. *Em Agronomy* (Vol. 11). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/agronomy11020343>

Marques, B. de S., Costa, K. A. de P., Silva, L. M. da, Costa, A. C., Ferrari, G. C., de Lima, J. F., da Silva, A. F., Matos, W. P., Gonçalves, L. F., Lima, D. A. S., Ferreira, J. V., Pontes, E. F., & Oliveira, F. F. P. (2025). Use of Bacterial-Enzymatic Inoculant Improves Silage Quality and Reduces Fermentation Losses in Intercropped Systems. *Agriculture* (Switzerland), 15. <https://doi.org/10.3390/agriculture15040437>

McDonald, P., Henderson, N., & Heron, S. (1991). *The Biochemistry of Silage*. Chalcombe. <https://books.google.com.br/books?id=oUcjAQAAMAAJ>

Mello, C. E. L., Jakelaitis, A., e Silva, C. H. de L., de Sousa, G. D., & da Silva, J. O. (2023). Glyphosate doses in the suppression of *Megathyrus maximus* cv. BRS Quênia intercropped with transgenic maize. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 27, 892–899. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v27n11p892-899>

Mertens, D. R., Allen, M., Carmany, J., Clegg, J., Davidowicz, A., Drouches, M., Frank, K., Gambin, D., Garkie, M., Gildemeister, B., Jeffress, D., Jeon, C.-S., Jones, D., Kaplan, D., Kim, G.-N., Kobata, S., Main, D., Moua, X., Paul, B., ... Wolf, M. (2002). Gravimetric Determination of Amylase-Treated Neutral Detergent Fiber in Feeds with Refluxing in Beakers or Crucibles: Collaborative Study. *Journal of AOAC International*, 85, 1217–1240. <https://doi.org/10.1093/jaoac/85.6.1217>

Mesfin, S., Gebresamuel, G., Haile, M., & Zenebe, A. (2023). Potentials of legumes rotation on yield and nitrogen uptake of subsequent wheat crop in northern Ethiopia. *Heliyon*, 9, e16126. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16126>

Muglia, G. R. P., Orrico Junior, M. A. P., Retore, M., Ceccon, G., da Silva, Y. A., Orrico, A. C. A., Amaral, I. P. de O., & de Oliveira, V. G. (2025). Productivity and Fermentative and Nutritional Quality of Silages from Biomass Sorghum Intercropped with Tropical Grasses. *AgriEngineering*, 7. <https://doi.org/10.3390/agriengineering7100345>

Nascimento, P. V. J. do, Costa, A. B. G. da, Urbano, S. A., Santana, J. C. S., Soares, M. A. de L., Silva, A. C. R. L. da, Santos, R. da S., Chagas, F. P. T. das, Costa, M. G., & Neto, J. V. E. (2026). Tropical forage grasses intercropped with sorghum in a semi-arid region: establishment, silage quality and economic viability. *African Journal of Range and Forage Science*, 43, 221–230. <https://doi.org/10.2989/10220119.2025.2592809>

Oliveira, D. M. S., Santos, R. S., Chizzotti, F. H. M., Bretas, I. L., Franco, A. L. C., Lima, R. P., Freitas, D. A. F., Cherubin, M. R., & Cerri, C. E. P. (2024). Crop, livestock, and forestry integration to reconcile soil health, food production, and climate change mitigation in the Brazilian Cerrado: A review. *Geoderma Regional*, 37. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2024.e00796>

Oliveira, P. P. A., Godoy, R., Oliveira, B. A., Pedroso, A. de F., Bonani, W. L., Rodrigues, P. H. M., & Lelis, A. L. J. (2021). Avaliação de diferentes materiais genéticos de feijão-guandu em consórcio com capim-marandu na recuperação de pastagens degradadas. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1142946>.

Paciullo, D. S. C., Rodrigues, P. D. R., Soares, N. D. A., Gomide, C. A. De M., Souza Sobrinho, F. De, & Morenz, M. J. F. (2020). Produção de forragem de *Brachiaria ruziziensis* cv. BRS Integra sob pastejo, ao longo do ano. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1131568>.

Pariz, C. M., Costa, N. R., Costa, C., Crusciol, C. A. C., de Castilhos, A. M., Meirelles, P. R. de L., Calonego, J. C., Andreotti, M., Souza, D. M. de, Cruz, I. V., Longhini, V. Z., Protes, V. M., Sarto, J. R. W., Piza, M. L. S. de T., Melo, V. F. de P., Sereia, R. C., Fachioli, D. F., Almeida, F. A. de, Souza, L. G. M. de, & Franzluebbbers, A. J. (2020). An Innovative Corn to Silage-Grass-Legume Intercropping System With Oversown Black Oat and Soybean to Silage in Succession for the Improvement of Nutrient Cycling. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.544996>

Pereira, R. R., Garcia, I. M., Modesto, V. C., Sekiya, B. M. S., Soares, D. de A., & Andreotti, M. (2023). Soybean performance in succession to the intercropping of corn with marandu grass and pigeonpea in an integrated agricultural production system. *Revista Ceres*, 70, 72–80. <https://doi.org/10.1590/0034-737X202370030008>

Pierre, J. F., Latournerie-Moreno, L., Garruña, R., Jacobsen, K. L., Laboski, C. A. M., Us-Santamaría, R., & Ruiz-Sánchez, E. (2022). Effect of Maize–Legume Intercropping on Maize Physio-Agronomic Parameters and Beneficial Insect Abundance. *Sustainability* (Switzerland), 14. <https://doi.org/10.3390/su141912385>

Prado, L. G., Costa, K. A. de P., da Silva, L. M., Costa, A. C., Severiano, E. da C., Costa, J. V. C. P., Habermann, E., & e Silva, J. A. G. (2023). Silages of sorghum, Tamani guinea grass, and Stylosanthes in an integrated system: production and quality. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1208319>

Qiu, Y., Wang, Z., Sun, D., Lei, Y., Li, Z., & Zheng, Y. (2025). Advances in Water and Nitrogen Management for Intercropping Systems: Crop Growth and Soil Environment. *Em Agronomy* (Vol. 15). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/agronomy15082000>

Raseduzzaman, M., & Jensen, E. S. (2017). Does intercropping enhance yield stability in arable crop production? A meta-analysis. *European Journal of Agronomy*, 91, 25–33. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.09.009>

Rodrigues, P. R., Paciullo, D. S. C., Soares, N. A., Gomide, C. A. M., Morenz, M. J. F., Lopes, F. C. F., Sobrinho, F. S., & Lana, M. Q. (2023). Productive traits and nutritional value of *Urochloa ruziziensis* submitted to different planting densities and defoliation intensities. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 75, 1005–1015. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-12976>

Salinas-Roco, S., Morales-González, A., Espinoza, S., Pérez-Díaz, R., Carrasco, B., del Pozo, A., & Cabeza, R. A. (2024). N<sub>2</sub> Fixation, N Transfer, and Land Equivalent Ratio (LER) in Grain Legume–Wheat Intercropping: Impact of N Supply and Plant Density.

Plants, 13. <https://doi.org/10.3390/plants13070991>

Samanez, C. P. (2009). Engenharia econômica. São Paulo:Pearson. 210p.

Santos, C. B., Costa, K. A. de P., Souza, W. F. de, Silva, V. C. E., Brandstetter, E. V., Oliveira, S. S., Leão, K. M., & Severiano, E. D. C. (2023). Production, quality of Paiaguas palisadegrass and cattle performance after sorghum intercropping in pasture recovery in an integrated crop-livestock system. *Australian Journal of Crop Science*, 17(4), 361–368. <https://doi.org/10.21475/ajcs.23.17.04.p3700>

Santos, H. G. dos, Jacomine, P. K. T., Anajos, L. H. C. dos, Oliveira, V. A. de, Lumbreras, J. F., Coelho, M. R., Almeida, J. A. de, Araujo Filho, J. C. de, Lima, H. N., Marques, F. A., Oliveira, J. B. de, & Cunha, T. J. F. (2025). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1176834>.

Silva, D. J., & Queiroz, A. C. de. (2006). *Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos*. UFV.

Silva, L. M. da, Costa, K. A. de P., Gonçalves e Silva, J. A., Costa, A. C., Severiano, E. da C., Costa, J. V. C. P., Bento, J. C., Fernandes, P. B., Vilela, L., Olivera Viciado, D., Habermann, E., Rodrigues, F., & Martinez, C. A. (2025). Integrated triple cropping enhances soybean productivity. *Crop Science*, 65(5), e70176. <https://doi.org/10.1002/CSC2.70176;PAGE:STRING:ARTICLE/CHAPTER>

Silva, L. M. da, Costa, K. A. de P., Prado, L. G., Rezende, A. G., Severiano, E. da C., Costa, J. V. C. P., e Silva, J. A. G., Costa, A. C., Fernandes, P. B., Rodrigues, R. C., Marques, B. de S., de Moraes, B. F., & Rodrigues, F. (2024). Maize intercropped with *Panicum maximum* cultivars and Pigeon pea improves silage yield and quality. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8, 1416717. <https://doi.org/10.3389/FSUFS.2024.1416717/BIBTEX>

Silva, J. A. G. e, Costa, K. A. de P., Severiano, E. da C., Silva, A. G. da, Vilela, L., Leandro, W. M., Muniz, M. P., Silva, L. M. da, Mendonça, K. T. M., & Barros, V. M. (2024). Efficiency of Desiccation, Decomposition and Release of Nutrients in the

Biomass of Forage Plants of the Genus *Brachiaria* After Intercropping with Sorghum in Integrated Systems for Soybean Productivity. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 55, 1644–1662. <https://doi.org/10.1080/00103624.2024.2323076>

Silva, J. A. G. e, Habermann, E., Costa, K. A. de P., Silva, L. M. da, Severiano, E. da C., Costa, A. C., Silva, F. G., Oliveira, T. C. de, Dário, B. M. M., Vilela, L., Costa, J. V. C. P., & Martinez, C. A. (2024). Integration crop-livestock system increases the sustainability of soybean cultivation through improved soil health and plant physiology. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 359. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108770>

Silva, L. S., Laroca, J. V. dos S., Coelho, A. P., Gonçalves, E. C., Gomes, R. P., Pacheco, L. P., Carvalho, P. C. de F., Pires, G. C., Oliveira, R. L., Souza, J. M. A. de, Freitas, C. M., Cabral, C. E. A., Wruck, F. J., & Souza, E. D. de. (2022). Does grass-legume intercropping change soil quality and grain yield in integrated crop-livestock systems? *Applied Soil Ecology*, 170. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104257>

Soares, S. da C., Souza, W. dos S., Santos, R. A. F. dos, Borré, J. G., Machado, N. P. de O., Ramalho, I. O., Homem, B. G. C., Rodrigues Pinto, L. A. da S., Pereira, M. G., Pinheiro, É. F. M., Rezende, C. de P., Alves, B. J. R., Boddey, R. M., & Urquiaga, S. (2026). Legume-grass mixed pasture enhances soil organic matter, enzymatic activity and microbial necromass of sandy soils aggregates. *Applied Soil Ecology*, 219. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2026.106814>

Sarto, M. V. M., Borges, W. L. B., Bassegio, D., Rice, C., & Rosolem, C. A. (2021). Maize and sorghum root growth and yield when intercropped with forage grasses. *Agronomy Journal*, 113, 4900–4915. <https://doi.org/10.1002/agj2.20920>

Sobrinho, F. de S., Auad, A. M., Brighenti, A. M., Gomide, C. A. De M., Martins, C. E., Castro, C. R. T. de, Paciullo, D. S. C., Benites, F. R. G., & Rocha, W. S. D. da. (2022). BRS Integra: nova cultivar de *Urochloa ruziziensis* para a ILPF. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1140781?mode=full>.

Song, T., Lambers, H., Li, C., Makowski, D., & Zhang, C. (2026). Temporal yield stability of cereal-cereal and cereal-legume intercropping. A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 46. <https://doi.org/10.1007/s13593-026-01098-7>

Souza, L. F. N., Ciampitti, I. A., Fernandez, J. A., Favarin, J. L., & de Oliveira, S. M. (2024). Maize-*Brachiaria* grass intercropping: A meta-analysis of major productivity drivers in Brazil. *Field Crops Research*, 306. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.109205>

Swanepoel, P. A., & Smit, H. P. J. (2025). Integration of livestock into conservation agriculture systems in the Mediterranean climate region of South Africa. *Em African Journal of Range and Forage Science* (Vol. 42, p. 57–65). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.2989/10220119.2024.2435884>

Tamburini, G., Bommarco, R., Wanger, T. C., Kremen, C., van der Heijden, M. G. A., Liebman, M., & Hallin, S. (2020). Agricultural diversification promotes multiple ecosystem services without compromising yield. *Science Advances*, 6. <https://doi.org/10.1126/SCIADV.ABA1715>

Tang, C., Yang, X., Chen, X., Ameen, A., & Xie, G. (2018). Sorghum biomass and quality and soil nitrogen balance response to nitrogen rate on semiarid marginal land. *Field Crops Research*, 215, 12–22. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.09.031>

Tilley, J. M. A., & Terry, R. A. (1963). A TWO-STAGE TECHNIQUE FOR THE IN VITRO DIGESTION OF FORAGE CROPS. *Grass and Forage Science*, 18, 104–111. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1963.tb00335.x>

Vanolli, B. da S., Dias, H. B., da Luz, F. B., Lamparelli, R. A. C., Magalhães, P. S. G., & Cherubin, M. R. (2025). Crop–Livestock Integrated Systems Improve Soil Health in Tropical Sandy Soils. *Agronomy*, 15. <https://doi.org/10.3390/agronomy15020378>

Vennam, R. R., Ramamoorthy, P., Poudel, S., Reddy, K. R., Henry, W. B., & Bheemanahalli, R. (2023). Developing Functional Relationships between Soil Moisture Content and Corn Early-Season Physiology, Growth, and Development. *Plants*, 12. <https://doi.org/10.3390/plants12132471>

Wang, J., Tang, J., Ruan, S., Lv, R., Zhou, J., Tian, J., Cheng, H., Xu, E., & Liu, D. (2021). A comprehensive review of cereal germ and its lipids: Chemical composition, multi-objective process and functional application. *Em Food Chemistry* (Vol. 362). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130066>

Wang, Y. L., Wang, W. K., Wu, Q. C., Zhang, F., Li, W. J., Yang, Z. M., Bo, Y. K., & Yang, H. J. (2022). The Effect of Different Lactic Acid Bacteria Inoculants on Silage Quality, Phenolic Acid Profiles, Bacterial Community and In Vitro Rumen Fermentation Characteristic of Whole Corn Silage. *Fermentation*, 8. <https://doi.org/10.3390/fermentation8060285>

Xu, J., Chang, J., Liu, Y., Guo, L., Du, G., & Guan, G. (2025). Impacts of Climate Change on Crops: A Comprehensive Review. *Hydrological Processes*, 39. <https://doi.org/10.1002/hyp.70224>

Yang, X., Xiong, J., Du, T., Ju, X., Gan, Y., Li, S., Xia, L., Shen, Y., Pacenka, S., Steenhuis, T. S., Siddique, K. H. M., Kang, S., & Butterbach-Bahl, K. (2024). Diversifying crop rotation increases food production, reduces net greenhouse gas emissions and improves soil health. *Nature Communications*, 15. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-44464-9>

Yi, Q., Yu, M., Wang, P., Du, J., Zhao, T., Jin, Y., Tang, H., & Yuan, B. (2023). Effects of Moisture Content and Silage Starter on the Fermentation Quality and In Vitro Digestibility of Waxy Corn Processing Byproduct Silage. *Fermentation*, 9. <https://doi.org/10.3390/fermentation9121025>

Zhang, W., Zhao, Y., Li, G., Shen, L., Wei, W., Li, Z., Tuerti, T., & Zhang, W. (2025). The Effects of Maize–Soybean and Maize–Peanut Intercropping on the Spatiotemporal Distribution of Soil Nutrients and Crop Growth. *Agronomy*, 15. <https://doi.org/10.3390/agronomy15112527>

## 7. CONCLUSÃO GERAL

Os resultados obtidos permitiram atender aos objetivos propostos e indicam que a associação entre milho, *Brachiaria ruziziensis* cv. BRS Integra e *Cajanus cajan* cv. BRS Guatã favoreceu a complementaridade entre as espécies, com reflexos sobre a produção, a qualidade da silagem e o desempenho econômico dos sistemas.

A presença do milho foi determinante para a obtenção de condições adequadas de conservação da silagem, enquanto a inclusão do guatã contribuiu para o aumento do teor de proteína bruta e esteve associada a menores níveis de adubação nitrogenada de cobertura, indicando potencial para maior eficiência no uso do nitrogênio. O integra, por sua vez, contribuiu para a composição dos sistemas consorciados e para a produção de biomassa.

Entre os sistemas avaliados, o consórcio triplo apresentou o melhor desempenho conjunto, destacando-se pela maior produção de massa seca, características fermentativas adequadas, maior teor de proteína bruta e menor custo por unidade de massa seca produzida. A variação das condições climáticas entre os anos influenciou o desempenho produtivo, especialmente dos sistemas envolvendo o milho, evidenciando a influência das condições ambientais sobre os resultados obtidos. Dessa forma, nas condições avaliadas, o consórcio triplo mostrou-se uma alternativa promissora para a produção de volumoso, conciliando produtividade, qualidade e viabilidade econômica da silagem.