SEVEN
EDITORA
2026

FORRAGICULTURA:

PRINCÍPIOS, MANEJO E INOVAÇÃO

TECNOLOFIA E CONHECIMENTO PARA
PASTAGENS PRODUTIVAS E SUSTENTÁVEIS



CLARICE BACKES
ARTHUR GABRIEL TEODORO
ALESSANDRO JOSÉ MARQUES SANTOS
DANILO CORREA BAIÃO

EDITORA CHEFE
Profº Me. Isabele de Souza Carvalho

EDITOR EXECUTIVO
Nathan Albano Valente

ORGANIZADORES DO LIVRO
Clarice Backes
Arthur Gabriel Teodoro
Alessandro José Marques Santos
Danilo Correa Baião

PRODUÇÃO EDITORIAL
Seven Publicações Ltda

EDIÇÃO DE ARTE
Evellyn Thais de Souza

EDIÇÃO DE TEXTO
Stephanie Caroline Meyer de Quadros

BIBLIOTECÁRIA
Bruna Heller

IMAGENS DE CAPA
Evellyn Thais de Souza

2026 by Seven Editora

Copyright © Seven Editora

Copyright do Texto © 2026 Os Autores

Copyright da Edição © 2026 Seven Editora

O conteúdo do texto e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Seven Publicações Ltda. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Seven Publicações Ltda é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação.

Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

O conteúdo deste Livro foi enviado pelos autores para publicação de acesso aberto, sob os termos e condições da Licença de Atribuição Creative Commons 4.0 Internacional

CONSELHO EDITORIAL

EDITORA CHEFE
Prof. Me. Isabele de Souza Carvalho

CONSELHO EDITORIAL
Adriana Barni Truccolo - Universidade Estadual do Rio Grande do Sul
Adriana Barretta Almeida - Universidade Federal do Paraná
Alessandre Gomes de Lima - Faculdade de Medicina da Universidade do Porto
Anderson Nunes da Silva - Universidade Federal do Norte do Tocantins
Antonio da Costa Cardoso Neto - Universidade de Flores, Buenos Aires
Antônio Alves de Fontes-Júnior - Universidade Cruzeiro do Sul
Ariane Fernandes da Conceição - Universidade Federal do Triângulo Mineiro
Arnaldo Oliveira Souza Júnior - Universidade Federal do Piauí, CEAD
Caio Vinicius Efigenio Formiga - Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Charles Henrique Andrade de Oliveira - Universidade de Pernambuco
Egas José Armando - Universidade Eduardo Mondlane, Moçambique
Inaldo Kley do Nascimento Moraes - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Irlane Maia de Oliveira - Universidade Federal de Mato Grosso
Janyel Trevisol - Universidade Federal de Santa Maria
Jorge Fernando Silva de Menezes - Universidade de Aveiro
Jorge Luís Pereira Cavalcante - Fundação Universitária Iberoamericana
Kleber Farinazo Borges - Universidade de Brasília
Luiz Gonzaga Lapa Junior - Universidade de Brasília
Mara Lucia da Silva Ribeiro - Universidade Federal de São Paulo
Marcelo Silva de Carvalho - Universidade Federal de Alfenas
Marcos Garcia Costa Morais - Universidade Estadual da Paraíba
Maria Gorete Valus - Universidade Estadual de Campinas
Mônica Maria de Almeida Brainer - Instituto Federal de Goiás, Campus Ceres
Moacir Silva de Castro - Pontifícia Universidade Católica de São Paulo
Paulo Roberto Duailibe Monteiro - Universidade Federal Fluminense
Pedro Henrique Ferreira Marçal - Universidade Vale do Rio Doce
Rafael Braga Esteves - Universidade de São Paulo
Telma Regina Stroparo - Universidade Estadual de Ponta Grossa
Valéria Raquel Alcantara Barbosa - Fundação Oswaldo Cruz
Wanderson Santos de Farias - Universidade do Desenvolvimento Sustentável
Yuni Saputri M.A - Universidade Nalanda, Índia

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

F728

Forragicultura [recurso eletrônico] : Princípios, Manejo e Inovação — Tecnologia e Conhecimento para Pastagens Produtivas e Sustentáveis / Clarice Backes ... [et al.]. – São José dos Pinhais, PR: Editora Seven, 2026.

Dados eletrônicos (1 PDF).

Inclui bibliografia.

ISBN 978-65-6109-459-7

1. Agricultura. 2. Forragicultura. 3. Pastagem – manejo. I. Backes, Clarice. II. Teodoro, Arthur Gabriel. III. Santos, Alessandro José Marques. IV. Baião, Danilo Correa. V. Título.

CDU 63

Bruna Heller - Bibliotecária - CRB10/2348

Índices para catálogo sistemático:

1 Agricultura 63

DOI: 10.56238/livrosindi2026111-001

Seven Publications Company

CNPJ: 43.789.355/0001-14

editora@sevenevents.com.br

São José dos Pinhais/PR

SOBRE OS AUTORES

Abnner Josué Costa Clementino

Zootecnista e mestrando em Produção Animal e Forragicultura pela Universidade Estadual de Goiás (UEG). Possui experiência nas áreas de produção de ruminantes, manejo de pastagens, forragicultura e gestão de propriedades rurais. Atua como técnico de campo do SENAR ATeG, prestando assistência técnica e gerencial a produtores rurais no município de Itumbiara-GO e região.

E-mail: abnnerzootec@gmail.com

Alessandro José Marques Santos

Agrônomo, doutor em Energia na Agricultura pela Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), Faculdade de Ciências Agronômicas, Câmpus Botucatu. É professor da Universidade Estadual de Goiás (UEG), Câmpus Oeste, sede São Luís de Montes Belos, atuando na graduação e no Programa de Pós-Graduação em Produção Animal e Forragicultura.

E-mail: alessandro.santos@ueg.br

Allaor Francisco Nunes de Almeida Fraga

Médico-veterinário e mestrando em Produção Animal e Forragicultura pela Universidade Estadual de Goiás (UEG), Câmpus Oeste, sede São Luís de Montes Belos. É produtor rural na região de Cachoeira de Goiás, com atuação em genética, desenvolvimento sustentável e produção de forragem.

E-mail: allaornunes@gmail.com

Ana Cláudia Soares Mendes

Médica-veterinária pela Faculdade Anhanguera de Anápolis, especialista em Produção Animal pela REHAGRO e mestranda em Produção Animal e Forragicultura pela Universidade Estadual de Goiás (UEG), Câmpus Oeste, sede São Luís de Montes Belos. Atua como médica-veterinária na empresa COMIGO, com sede em Nova Crixás, com foco em nutrição animal, sanidade e clínica médica e cirúrgica.

E-mail: anaclaudia.conforto@gmail.com

Ana Paula Galvão Silva

Agrônoma, especialista em Geoprocessamento pela FACUMINAS e mestranda em Produção Animal e Forragicultura pela Universidade Estadual de Goiás (UEG), Câmpus Oeste. É bolsista do Programa de Desenvolvimento e Inovação na Pós-Graduação Stricto Sensu (BISS).

E-mail: anapaula.galvao1210@gmail.com

Arthur Gabriel Teodoro

Zootecnista pela Universidade Estadual de Goiás (UEG), Câmpus São Luís de Montes Belos, especialista em Produção Animal pela UEG, mestre em Desenvolvimento Rural Sustentável, área de Produção Vegetal, pela UEG, e doutor em Zootecnia pela Universidade Federal de Goiás (UFG). É professor dos cursos de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade Estadual de Goiás (UEG), Câmpus Oeste, e docente do Programa de Pós-Graduação em Produção Animal e Forragicultura.

E-mail: arthur.teodoro@ueg.br

Carlos Eduardo Pereira da Conceição

Zootecnista e mestrando em Produção Animal e Forragicultura pela Universidade Estadual de Goiás (UEG), Câmpus Oeste, sede São Luís de Montes Belos. Atua como consultor técnico-comercial na empresa Vetsell, com foco em nutrição animal e conservação de silagens.

E-mail: cepc@alunoueg.com.br

Clarice Backes

Agrônoma, mestre e doutora em Agronomia, área de Produção Vegetal, pela Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), e pós-doutora em Ciência Florestal pela mesma instituição. É professora adjunta do curso de Zootecnia da Universidade Estadual de Goiás (UEG), Câmpus Oeste, e docente do Programa de Pós-Graduação em Produção Animal e Forragicultura.

E-mail: clarice.backes@ueg.br

Danilo Corrêa Baião

Zootecnista, especialista em Nutrição Animal e Produção de Ruminantes e mestrando em Produção Animal e Forragicultura pela Universidade Estadual de Goiás (UEG). Atua como técnico de campo na Assistência Técnica e Gerencial do Senar Goiás, com experiência em bovinocultura de leite e corte. Possui experiência em docência no ensino superior nas áreas de Zootecnia e Ciências Agrárias.

E-mail: engdanilobaiao@gmail.com

Diogo Alves da Costa Ferro

Zootecnista, especialista em Produção Animal, mestre em Ciência Animal, doutor e pós-doutor em Zootecnia pela Universidade Federal de Goiás (UFG). É professor adjunto dos cursos de graduação em Zootecnia e Medicina Veterinária, da Especialização em Produção Animal e do Programa de Pós-Graduação em Produção Animal e Forragicultura da UEG, Câmpus Oeste, sede São Luís de Montes Belos. Coordena o curso de Zootecnia.

E-mail: diogo.ferro@ueg.br

Fábio Silva Carneiro

Zootecnista e mestrando em Produção Animal e Forragicultura pela Universidade Estadual de Goiás (UEG), Câmpus Oeste, sede São Luís de Montes Belos. Atua como analista ambiental no Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA).

E-mail: fabioamaggi@gmail.com

Gabriel dos Santos Cabral

Agrônomo, tecnólogo em Agronegócio pelo Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (SENAR-GO), especialista em Produção Animal pela Universidade Estadual de Goiás (UEG) e mestrando em Produção Animal e Forragicultura pela mesma instituição. É produtor rural, empresário na área de crédito rural voltado ao agronegócio e presidente do Sindicato Rural de Varjão, Goiás.

E-mail: gabriel.s.cabral@hotmail.com

João Eduardo Reis Sousa

Zootecnista e mestrando em Produção Animal e Forragicultura pela Universidade Estadual de Goiás (UEG). Atua como técnico de campo na Assistência Técnica e Gerencial do Senar Goiás, com experiência nas cadeias produtivas da bovinocultura de leite e corte.

E-mail: joaoeduardoreissousa15@gmail.com

José Henrique da Silva Taveira

Engenheiro agrícola, mestre em Ciências dos Alimentos, doutor e pós-doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Lavras (UFLA). É docente do curso de Agronomia da Universidade Estadual de Goiás (UEG), Câmpus Sudoeste, sede Quirinópolis, com atuação em desenho técnico, construções rurais e processamento de produtos agrícolas, especialmente secagem e armazenagem de grãos, processamento de sementes e silagem de forragem. Atua também no Programa de Pós-Graduação em Produção Animal e Forragicultura da UEG, Câmpus Oeste, sede São Luís de Montes Belos.

E-mail: jose.taveira@ueg.br

Klayto José Gonçalves dos Santos

Médico-veterinário pela Universidade do Tocantins, mestre em Medicina Veterinária pela Universidade Federal de Goiás (UFG), doutor e pós-doutor em Ciência Animal pela mesma instituição. É professor adjunto dos cursos de graduação em Zootecnia e Medicina Veterinária, da Especialização em Produção Animal e do Programa de Pós-Graduação em Produção Animal e Forragicultura da UEG, Câmpus Oeste, sede São Luís de Montes Belos.

E-mail: klayto.santos@ueg.br

Lucas Totoli de Carvalho

Zootecnista, mestre em Produção Animal e Forragicultura pela Universidade Estadual de Goiás (UEG). Possui experiência nas áreas de produção animal, reprodução bovina, manejo de pastagens, Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, qualidade do leite e gestão de propriedades rurais. Atua com serviços reprodutivos e como técnico de campo do SENAR ATeG, prestando assistência técnica e gerencial a produtores rurais no município de Itaberaí-GO e região.

E-mail: lucastotolizootecnista@gmail.com

Luiz Paulo Martins Leonel

Zootecnista e mestrando em Produção Animal e Forragicultura pela Universidade Estadual de Goiás (UEG). Possui experiência em manejo nutricional, formulação de dietas, avaliação de desempenho animal e estratégias de suplementação aplicadas à pecuária de corte. Atua como representante técnico-comercial, prestando assistência técnica e suporte nutricional a produtores rurais.

E-mail: luizpaulomarti@gmail.com

Marcos Vinícios Bueno de Oliveira

Zootecnista e mestrando em Produção Animal e Forragicultura pela Universidade Estadual de Goiás (UEG), Câmpus Oeste, sede São Luís de Montes Belos. Atua como consultor técnico-comercial na empresa Criamais, com foco em nutrição animal, reforma e manejo de pastagens e protocolos sanitários.

E-mail: marcos.bueno@aluno.ueg.br

Maxwel Vieira Marciano

Agrônomo e tecnólogo em Laticínios pela Universidade Estadual de Goiás (UEG), com qualificação técnica em bovinocultura de leite pelo SENAR/PRONATEC. É mestrando em Produção Animal e Forragicultura pela UEG. Possui experiência em pesquisa e desenvolvimento agrícola, manejo de pastagens, produção animal, solos e fitotecnia. Atua com Assistência Técnica e Gerencial (ATeG) pelo SENAR-GO.

E-mail: maxwelmarciano@gmail.com

Pedro Luiz Ribeiro de Vasconcelos

Médico-veterinário pela Universidade Estadual de Goiás (UEG) e mestrando em Produção Animal e Forragicultura pela mesma instituição. Possui experiência em manejo sanitário e reprodutivo de bovinos leiteiros. Atua como técnico de campo no Programa de Assistência Técnica e Gerencial (ATeG) do SENAR-GO.

E-mail: pedroribeiro.ufrpe@gmail.com

Pedro Rogério Giongo

Agrônomo, mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), doutor em Ciências, área de Irrigação e Drenagem, pela Universidade de São Paulo (USP/ESALQ), e pós-doutor pelo IESA/LAPIG da Universidade Federal de Goiás (UFG). É docente da Universidade Estadual de Goiás (UEG), atuando em cursos de graduação e pós-graduação lato sensu e stricto sensu.

E-mail: pedro.giongo@ueg.br

Rafael Alves da Costa Ferro

Zootecnista, especialista em Produção Animal, mestre em Ciência Animal, doutor e pós-doutor em Zootecnia pela Universidade Federal de Goiás (UFG). É docente efetivo dos cursos de Zootecnia e Medicina Veterinária e do Programa de Pós-Graduação em Produção Animal e Forragicultura da Universidade Estadual de Goiás (UEG).

E-mail: rafael.ferro@ueg.br

Rodrigo Medeiros da Silva

Zootecnista, especialista em Produção de Ruminantes pela Universidade Federal de Lavras (UFLA), mestre e doutor em Ciência Animal pela Universidade Federal de Goiás (UFG) e pós-doutor em Zootecnia pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). É docente do curso de Zootecnia da Universidade Estadual de Goiás (UEG), nas disciplinas de Bovinocultura de Corte e Avaliação e Tipificação de Carcaças. Atua como docente e pesquisador do Programa de Pós-Graduação em Produção Animal e Forragicultura da UEG, Câmpus Oeste, sede São Luís de Montes Belos.

E-mail: rodrigo.medeiros@ueg.br

Rodrigo Zaiden Taveira

Zootecnista, especialista em Julgamento de Raças Zebuínas pela Faculdade de Agronomia e Zootecnia de Uberaba (FAZU), mestre em Zootecnia, área de Nutrição e Produção Animal, e doutor em Zootecnia, área de Genética e Melhoramento dos Animais Domésticos, pela Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP). É pós-doutor pela Universidade de Évora, Portugal, docente efeti-

vo dos cursos de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade Estadual de Goiás (UEG) e docente e pesquisador do Programa de Pós-Graduação em Produção Animal e Forragicultura da UEG, Câmpus Oeste, sede São Luís de Montes Belos.

E-mail: rodrigo.zaiden@ueg.br

APRESENTAÇÃO

O livro Forragicultura: princípios, manejo e inovação é resultado de um trabalho coletivo desenvolvido por alunos do Mestrado em Produção Animal e Forragicultura da Universidade Estadual de Goiás, durante a disciplina de Tópicos em Forragicultura.

Ao longo da disciplina, os mestrandos tiveram a oportunidade de estudar, discutir e aprofundar temas importantes para a produção de forragens e o manejo de pastagens. Como fruto desse processo, foram organizados sete capítulos que abordam diferentes aspectos da forragicultura, desde seus princípios básicos até temas ligados ao manejo, à conservação do solo, à recuperação de pastagens, ao uso de tecnologias e às inovações aplicadas aos sistemas de produção animal.

Esta obra representa mais do que uma atividade acadêmica. Ela expressa o envolvimento dos alunos com a construção do conhecimento e com a busca por soluções para os desafios da pecuária brasileira. Cada capítulo carrega o esforço de leitura, reflexão, escrita e organização de ideias, aproximando os conteúdos discutidos em sala de aula da realidade vivida no campo.

A forragicultura tem papel essencial na produção animal, especialmente em um país como o Brasil, onde as pastagens sustentam grande parte da produção de carne e leite. Por isso, compreender melhor as espécies forrageiras, o manejo adequado, a fertilidade do solo, o uso racional dos recursos naturais e as novas tecnologias é fundamental para tornar os sistemas produtivos mais eficientes, sustentáveis e rentáveis.

Espera-se que Forragicultura: princípios, manejo e inovação contribua como material de apoio para estudantes, professores, técnicos, produtores rurais e demais profissionais das Ciências Agrárias, oferecendo uma base para reflexão, estudo e aplicação prática dos conhecimentos ligados à produção de forragens e ao manejo de pastagens. Construída de forma coletiva, a obra valoriza o processo de formação dos mestrandos e reforça o compromisso da Universidade Estadual de Goiás com o ensino, a pesquisa e o desenvolvimento de sistemas de produção animal mais eficientes, sustentáveis e conectados com a realidade do campo.

Os organizadores

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1.....12

A IMPORTÂNCIA DAS PASTAGENS E AS PRINCIPAIS ESPÉCIES FORRAGEIRAS UTILIZADAS NO BRASIL

Crossref doi 10.56238/livrosindi2026111-001

CAPÍTULO 2.....35

DEGRADAÇÃO E RECUPERAÇÃO DE PASTAGENS: CAUSAS, EFEITOS E RECUPERAÇÃO

Crossref doi 10.56238/livrosindi2026111-002

CAPÍTULO 3.....51

IMPLEMENTAÇÃO E MANEJO DE FORRAGENS COMO BASE DA PRODUÇÃO ANIMAL SUSTENTÁVEL

Crossref doi 10.56238/livrosindi2026111-003

CAPÍTULO 4.....67
AS FORRAGEIRAS COMO COMPONENTE EM DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO PECUÁRIOS

Crossref doi 10.56238/livrosindi2026111-004

CAPÍTULO 5.....88

CORREÇÃO E ADUBAÇÃO DO SOLO PARA PASTAGENS: PRINCÍPIOS E PRÁTICAS PARA ALTA PRODUTIVIDADE FORRAGEIRA

Crossref doi 10.56238/livrosindi2026111-005

CAPÍTULO 6.....112

USO DE BIOINSUMO EM FORRAGEIRAS

Crossref doi 10.56238/livrosindi2026111-006

CAPÍTULO 7.....130

SILAGEM DE FORRAGEIRAS TROPICAIS

10.56238/livrosindi2026111-007

ÍNDICE REMISSIVO.....161

A IMPORTÂNCIA DAS PASTAGENS E AS PRINCIPAIS ESPÉCIES FORRAGEIRAS UTILIZADAS NO BRASIL

Crossref doi 10.56238/livrosindi2026111-001

Danilo Corrêa Baião
João Eduardo Reis Sousa
Clarice Backes
Alessandro José Marques Santos
Arthur Gabriel Teodoro

1 INTRODUÇÃO

A pecuária brasileira está fortemente baseada no uso de pastagens, que constituem a principal fonte de alimento para ruminantes nos sistemas de produção de carne e leite. Em regiões tropicais, como o Brasil, o pasto não representa apenas uma alternativa nutricional, mas o eixo central que sustenta a atividade pecuária, influenciando diretamente produtividade, custos e estabilidade dos sistemas produtivos (Costa, 2010; Jank et al., 2014).

O uso predominante de pastagens confere à pecuária nacional elevada competitividade, especialmente por reduzir a dependência de insumos externos e de sistemas confinados. Esse modelo produtivo contribui para a redução dos custos alimentares e atende a exigências crescentes relacionadas ao bem-estar animal e à sustentabilidade ambiental, aspectos cada vez mais valorizados pelos mercados consumidores (Silveira et al., 2021).

Além do componente econômico, as pastagens exercem papel ambiental relevante. Sistemas bem manejados favorecem a ciclagem de nutrientes, o sequestro de carbono no solo e a conservação da biodiversidade, contribuindo para mitigar impactos ambientais da produção pecuária (Sevov et al., 2018; Rao et al., 2014).

O valor nutricional das pastagens tropicais é outro fator determinante para o desempenho animal. Gramíneas tropicais, solteiras ou consorciadas com leguminosas, fornecem carboidratos, proteínas, minerais e vitaminas essenciais para a produção e reprodução dos ruminantes. No entanto, esse valor nutricional varia conforme espécie, clima e práticas de manejo adotadas (Silva et al., 2016; Jayasinghe et al., 2022).

No Brasil, destacam-se espécies forrageiras dos gêneros *Urochloa*, *Megathyrsus maximus*, *Cynodon* e *Pennisetum purpureum*, além de leguminosas como amendoim forrageiro, guandu, *Stylosanthes* e leucena. Cada grupo apresenta características específicas de adaptação, produtividade e exigência de manejo, ampliando as possibilidades de uso em diferentes sistemas de produção (Valle et al., 2009; Jank et al., 2014).

As pastagens também desempenham papel essencial na conservação do solo, especialmente em ambientes tropicais. A deposição de resíduos vegetais e o retorno de nutrientes via excretas animais favorecem a manutenção da fertilidade do solo, sobretudo em áreas de baixa fertilidade natural (Almeida et al., 2012; Marchão et al., 2024).

Diante desse contexto, compreender a importância das pastagens e conhecer as principais espécies forrageiras utilizadas no Brasil é fundamental para embasar decisões técnicas na pecuária. Este capítulo aborda o papel das pastagens nos sistemas de produção e apresenta as principais espécies forrageiras adotadas no país, destacando suas características e contribuições para a produtividade dos sistemas pecuários tropicais.

2 IMPORTÂNCIA DAS PASTAGENS NOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO

2.1 PASTAGENS COMO BASE ALIMENTAR DA PECUÁRIA TROPICAL

As pastagens constituem a base alimentar dos sistemas pecuários tropicais, sustentando a nutrição de ruminantes de forma econômica e ambientalmente consistente. Sua integração aos sistemas produtivos é essencial para elevar a produtividade, fortalecer a segurança alimentar e promover práticas agrícolas sustentáveis nas regiões (Rao et al., 2014).

O valor nutricional das pastagens tropicais explica grande parte de sua relevância. Espécies dos gêneros *Megathyrsus*, *Urochloa,* dentre outras apresentam elevada adaptabilidade para cada sistema e apresentam bom conteúdo nutricional, o que sustenta o crescimento e a produtividade animal em diferentes ambientes (Loor-Cevallos et al., 2025). Essas pastagens fornecem nutrientes essenciais, incluindo carboidratos, proteínas, lipídios, vitaminas e minerais, que são metabolizados pelos ruminantes e convertidos em desempenho produtivo e reprodutivo, reforçando o papel do pasto como principal fonte alimentar nos sistemas tropicais (Silva et al., 2016).

Entretanto, o valor nutritivo das pastagens não é constante ao longo do tempo. Ele varia conforme a espécie utilizada, as condições climáticas e as práticas de manejo, influenciando tanto a eficiência produtiva quanto a emissão de metano nos sistemas pecuários (Jayasinghe et al., 2022).

O manejo adequado do pasto é determinante para garantir melhor aproveitamento da forragem. Práticas como pastejo rotacionado, fertilização e controle do período de rebrota contribuem para manter o valor nutricional das pastagens e maximizar sua utilização pelos animais (Loor-Cevallos et al., 2025; Ibrahim; Usman, 2021).

A diversificação dos sistemas forrageiros também é apontada como estratégia relevante. A incorporação de diferentes espécies vegetais tende a melhorar a nutrição, além de reduzir impactos ambientais quando comparada a sistemas baseados em monoculturas forrageiras (Distel et al., 2020).

Estratégias adicionais de manejo, como a otimização do consumo de forragem, o pastejo em áreas com espécies mistas e a conservação de forragens, são descritas como fundamentais para superar limitações nutricionais típicas das pastagens tropicais e aumentar a produtividade pecuária (Hughes et al., 2013).

A integração de leguminosas com gramíneas em sistemas de pastagem é destacada como alternativa para elevar o teor proteico da dieta e apoiar a intensificação sustentável. Essa prática pode resultar em aumento da renda agropecuária e melhoria da nutrição, reforçando a importância das pastagens como base alimentar da pecuária tropical (Rao et al., 2014; Ibrahim; Usman, 2021).

Apesar de sua centralidade nos sistemas tropicais, persistem desafios associados à variabilidade da qualidade das pastagens e à necessidade de práticas de manejo eficientes. O sucesso dos sistemas baseados em pasto depende da adoção de tecnologias e estratégias capazes de otimizar o uso da forragem e reduzir limitações nutricionais ao longo do tempo (Hughes et al., 2013; Jayasinghe et al., 2022).

2.2 CONTRIBUIÇÃO PARA A PRODUÇÃO DE CARNE E LEITE

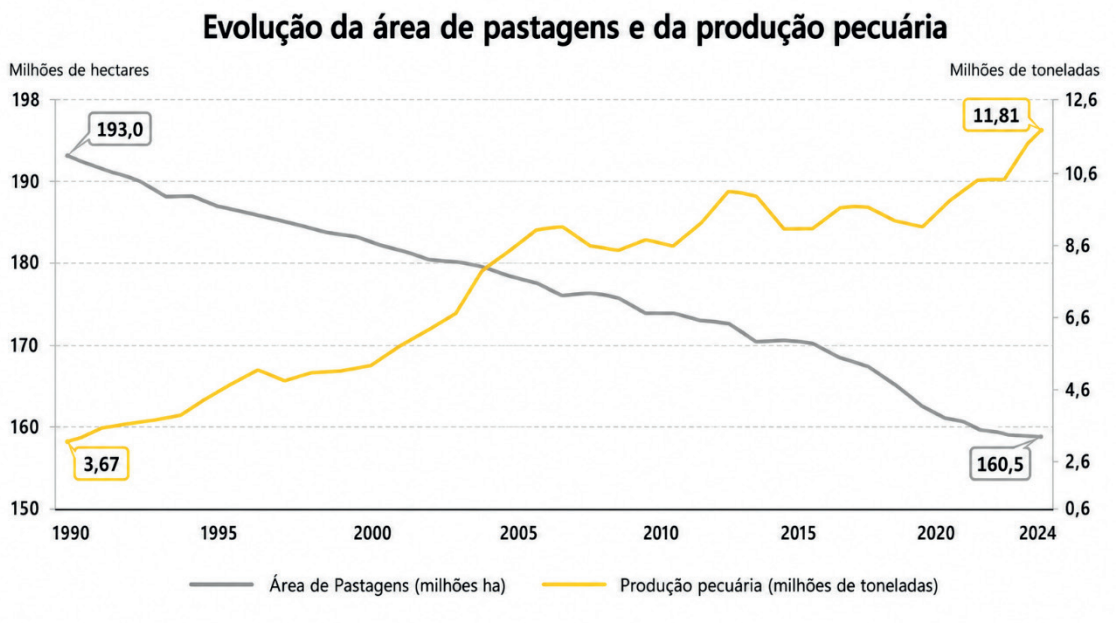
As pastagens ocupam posição central nos sistemas pecuários por sustentarem a alimentação de ruminantes e, assim, influenciarem diretamente a produção de carne e leite. Além de serem uma fonte de alimento economicamente relevante. Seu uso contribui para atender à demanda por produtos de origem animal, podendo também oferecer benefícios ambientais, como sequestro de carbono e suporte à biodiversidade (Sevov et al., 2018).

Na produção de carne, as pastagens são a principal base alimentar em sistemas de bovinos mantido a pasto. As forragens inseridas nesses sistemas contribuem para o suprimento de proteína comestível, com a carne bovina estimada em 4,71 g de proteína por pessoa por dia (Barbour et al., 2022).

Em condições tropicais da América Latina, a adoção de pastagens melhoradas foi associada a um aumento de 6% na produtividade da carne bovina, evidenciando o potencial de pastagens bem conduzidas para elevar a produção, especialmente quando há manejo adequado do recurso forrageiro (Argel, 2006).

No contexto brasileiro, essa lógica se expressa de forma ainda mais clara, uma vez que a área de pastagens apresentou redução de 14,8%, enquanto a produção de carne aumentou 153%, resultando em um incremento de 197,3% na produtividade entre os períodos analisados, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1. Intensificação da produção pecuária no Brasil associada à redução da área de pastagens e ao aumento da produtividade ao longo do tempo.



Fonte: Adaptado de dados do IBGE (PPM, PPT, PAM e Censo), INPE (TerraClass/Prodes), Lapig, Rally da Pecuária e Embrapa Territorial.

Na produção de leite, as pastagens também são determinantes por comporem parcela importante da dieta de vacas leiteiras. No Brasil, a escolha adequada da forrageira, associada ao uso de suplementação, foi apontada como estratégia capaz de melhorar a produtividade do leite em sistemas baseados em pastagens (Silva et al., 2010).

A produção de leite oriunda de pastagens contribui com 15,2 g de proteína por pessoa por dia. Esse valor reforça o peso de sistemas pastoris no suprimento de proteína de origem animal. Propriedades leiteiras baseadas em capim apresentaram resultados econômicos positivos, especialmente quando a produção de leite é combinada com a produção de carne, evidenciando ganhos de eficiência quando há integração entre atividades no mesmo sistema (Barbour et al., 2022).

Além do desempenho produtivo, as pastagens se associam a benefícios ambientais e econômicos. Sistemas a pasto podem reduzir a necessidade de combustíveis fósseis e minimizar impactos em comparação a sistemas confinados. Também contribuem para mitigação climática via armazenamento e sequestro de carbono e apoio à biodiversidade (Sevov et al., 2018). Do ponto de vista econômico, sistemas baseados em pastagens podem reduzir custos e melhorar a lucratividade quando manejados de forma eficaz. Estratégias de fertilização e condução do pastejo são destacadas como elementos importantes para sustentar esse desempenho (Luarca, 2011).

Apesar das vantagens, há desafios que limitam o potencial desses sistemas. A degradação das pastagens pode reduzir produtividade e sustentabilidade, exigindo práticas de manejo efetivas para preservar qualidade e produção (Sevov et al., 2018). Os avanços desses sistemas dependem de pesquisa e desenvolvimento contínuos. Melhorias em espécies forrageiras e em práticas de manejo são apontadas como necessárias para manter viabilidade e produtividade diante de mudanças ambientais e econômicas (Bell et al., 2013).

2.3 PAPEL NA REDUÇÃO DE CUSTOS ALIMENTARES

O uso extensivo de pastagens permite ao Brasil sustentar um grande rebanho com baixa dependência de confinamentos. Isso reduz o custo com alimentação, ao mesmo tempo em que se conecta a exigências de bem-estar animal e prevenção de doenças, o que pode ampliar o potencial de exportação. Para manter essa vantagem, a gestão estratégica e a melhoria das pastagens são consideradas fundamentais (Feltran-Barbieri; Féres, 2021).

Na pecuária de corte, a competitividade brasileira está ligada à forte dependência de pastagens. Menos de 10% dos bovinos de corte são terminados em confinamento, o que ajuda a manter os custos de produção mais baixos e sustenta a competitividade nas exportações (ABIEC, 2025).

Na produção de leite, sistemas baseados em pastagens também são relevantes para reduzir custos alimentares. A escolha adequada da forragem e o uso do pasto como base da dieta contribuem para melhorar produtividade e conter despesas, enquanto a suplementação atua como suporte quando necessário (Silva et al., 2010).

As pastagens têm peso direto na estrutura de custos da pecuária brasileira e a tendência é que essa importância aumente. Isso ocorre porque o valor da terra cresce e a competição pelo uso da terra se intensifica, exigindo maior eficiência por área para que o sistema continue econômico (Costa, 2010).

A recuperação estratégica de áreas degradadas também é um caminho direto para reduzir custos. Ao elevar a produtividade da área já disponível, diminui-se a necessidade de incorporar novas terras ao sistema, o que reduz o custo global de produção e a pressão por expansão (Feltran-Barbieri;

Féres, 2021). Quando tratada como prioridade, aumenta estoque de bovinos e eficiência produtiva, evitando desmatamento e favorecendo o cumprimento de regulamentações ambientais. Dessa forma, ganhos produtivos se convertem em redução de custos e em maior segurança do sistema (Feltran-Barbieri; Féres, 2021).

Assim, a taxa de lotação e a qualidade da pastagem são fatores decisivos para equilibrar produção e conservação. O ajuste desses elementos sustenta a eficiência do sistema a longo prazo em diferentes biomas brasileiros, mantendo o pasto produtivo e o custo alimentar controlado (Abreu et al., 2015).

2.4 RELAÇÃO COM SUSTENTABILIDADE, CICLAGEM DE NUTRIENTES E CONSERVAÇÃO DO SOLO

As pastagens têm função estratégica nos sistemas de produção por associarem oferta de alimento aos ruminantes com efeitos diretos sobre sustentabilidade, ciclagem de nutrientes e conservação do solo. Quando bem integradas ao sistema produtivo, contribuem para maior eficiência no uso de recursos, manutenção da saúde do solo e fortalecimento da biodiversidade, favorecendo modelos agrícolas mais sustentáveis (Marchão et al., 2024).

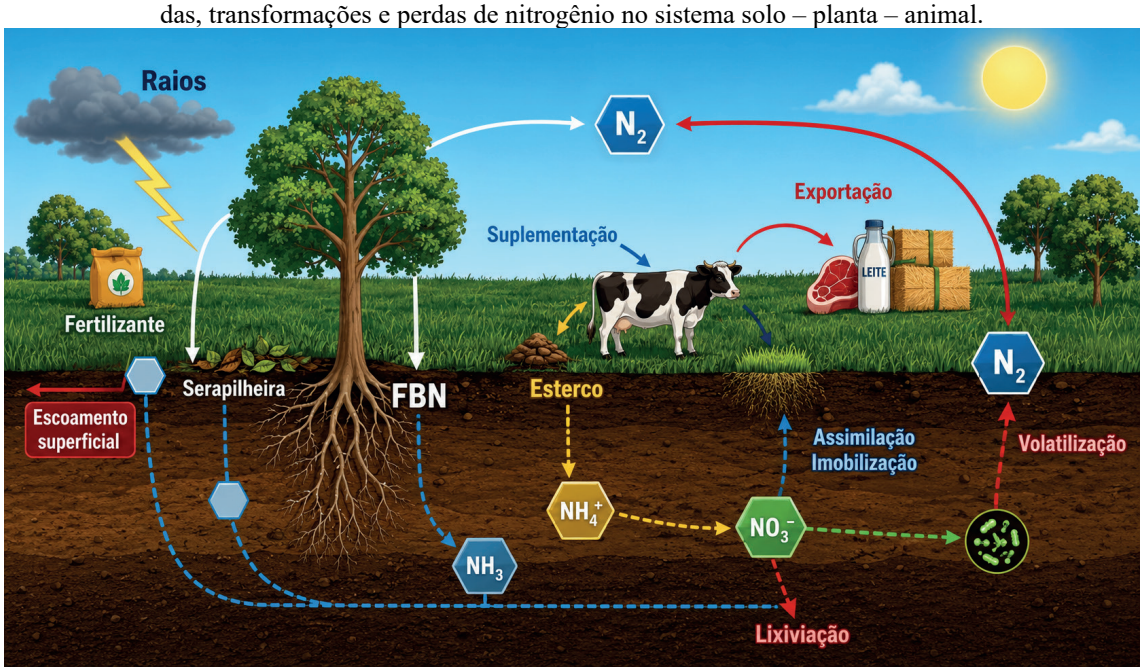
No campo da sustentabilidade, o manejo do pastejo é um ponto decisivo. O pastejo rotacionado, fundamentado nas leis do sistema Voisin, é descrito como prática capaz de elevar a sustentabilidade dos sistemas, especialmente na atividade leiteira. Essa condução contribui para preservar características físicas, químicas e biológicas do solo, reforçando a estabilidade ambiental da área (Almeida et al., 2012).

Outra estratégia associada à sustentabilidade é a integração de sistemas de produção vegetal e animal. A Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) é apresentada como alternativa eficiente para intensificar com responsabilidade, melhorando a qualidade do solo e reduzindo a necessidade de fertilizantes sintéticos. Esse tipo de integração favorece sistemas mais equilibrados e com melhor aproveitamento de recursos (Marchão et al., 2024; Freddi et al., 2024).

A ciclagem de nutrientes em pastagens tropicais é um mecanismo essencial para manter a fertilidade e sustentar a produtividade ao longo do tempo. Grande parte dos nutrientes retorna ao solo por meio das excretas e da deposição de matéria orgânica, o que fortalece a dinâmica natural do sistema. Nesse contexto, a introdução de leguminosas é apontada como prática que pode acelerar a decomposição da matéria orgânica e aumentar a disponibilidade de nitrogênio no solo (Vendramini et al., 2015).

Esses fluxos e transformações dos nutrientes no ambiente solo–planta–animal estão ilustrados na Figura 2, que apresenta de forma integrada os principais processos envolvidos na ciclagem de nutrientes em pastagens tropicais.

Figura 2. Representação esquemática da ciclagem de nutrientes em sistemas de pastagens tropicais, destacando as entradas, transformações e perdas de nitrogênio no sistema solo – planta – animal.



Fonte: Adaptado de Nascimento et al., 2024.

Esse processo ganha ainda mais relevância porque muitas pastagens estão estabelecidas em solos de baixa fertilidade, condição que limita a produção de forragem. Assim, a ciclagem de nutrientes se torna crítica para sustentar a fertilidade do solo e manter o funcionamento produtivo dessas áreas, reduzindo perdas e favorecendo o equilíbrio do sistema (Lima et al., 2015).

Do ponto de vista da conservação do solo, as pastagens podem atuar como barreira contra degradação quando manejadas corretamente, mas também podem se tornar foco de problemas quando o manejo é inadequado. A degradação de pastagens é descrita como um desafio relevante, pois está associada à compactação, erosão e perda de biodiversidade. Por isso, estratégias como manejo rotativo e introdução de espécies forrageiras adaptadas são destacadas como essenciais para conservar o solo e reduzir riscos de degradação (Nascimento et al., 2025).

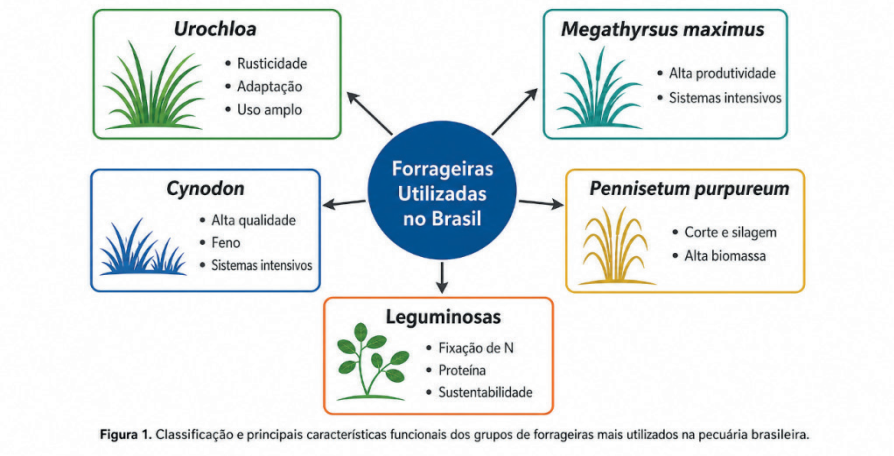
Além do manejo em si, o monitoramento é tratado como elemento importante para orientar decisões e garantir sustentabilidade. O uso de indicadores para acompanhar a saúde das pastagens é apontado como ferramenta útil para avaliar conservação do solo e manter a estabilidade dos ecossistemas pastorais, permitindo ajustes antes que o problema se torne irreversível (Santos et al., 2014).

Apesar dos benefícios, o texto-base ressalta que desafios como degradação podem gerar consequências econômicas e ambientais significativas, incluindo queda de produtividade e contribuição para mudanças climáticas. Por isso, a adoção de práticas de manejo sustentável e a presença de políticas públicas de apoio são consideradas essenciais para maximizar os benefícios das pastagens e reduzir impactos negativos (Nascimento et al., 2025).

3 PRINCIPAIS ESPÉCIES FORRAGEIRAS UTILIZADAS NO BRASIL

As principais espécies forrageiras utilizadas no Brasil podem ser organizadas em grupos com características distintas de adaptação, produtividade, exigência de manejo e finalidade de uso. Essa organização geral é apresentada na Figura 3, servindo como base para a discussão das espécies e cultivares abordadas nas seções seguintes.

Figura 3. Principais grupos de forrageiras utilizadas nos sistemas pecuários brasileiros.



Fonte: Elaboração própria, com base em Valle et al. (2009), Jank et al. (2014), Costa et al. (2020), Sanches et al. (2018) e Pereira et al. (2017).

3.1 GRAMÍNEAS DO GÊNERO *UROCHLOA*

O gênero *Urochloa*, anteriormente conhecido como *Brachiaria*, reúne gramíneas de grande relevância para a produção de forragem, sobretudo em regiões tropicais e subtropicais. Essas espécies sustentam sistemas de produção por combinarem boa adaptação a diferentes condições ambientais e contribuição para a melhoria da qualidade do solo, o que reforça seu valor agronômico e zootécnico (Higgins et al., 2021).

Entre as espécies mais utilizadas, destacam-se *U. brizantha*, *U. decumbens*, *U. humidicola* e *U. ruziziensis*. Embora pertençam ao mesmo gênero, apresentam características próprias que influenciam seu uso na prática, seja pela adaptação ao ambiente, seja pelo comportamento produtivo e pelo papel que podem exercer na dinâmica do solo (Ferreira, 2018).

A *U. brizantha* é reconhecida pelo crescimento robusto e pela ampla adaptabilidade. Trata-se de uma espécie tetraploide com presença marcante em sistemas de pastagem e, por isso, tem sido amplamente utilizada em programas de melhoramento. Esses esforços buscam ampliar características estratégicas, como tolerância à seca e maior valor nutritivo, reforçando sua importância em cenários de maior variabilidade climática (Masters et al., 2023).

A *U. decumbens* também possui grande relevância na pecuária brasileira. Predominantemente tetraploide e apomítica, é valorizada por sua resiliência e pela qualidade da forragem. Sua proximidade genética com *U. brizantha* é apontada como um aspecto importante para entendimento de características compartilhadas e para direcionamento de estratégias de melhoramento (Higgins et al., 2021).

A *U. humidicola* se diferencia principalmente pela tolerância a condições de alagamento, característica que amplia sua aplicabilidade em regiões sujeitas a inundações sazonais. Sendo uma espécie poliploide e com alta plasticidade fenotípica, tende a responder de forma mais flexível às variações ambientais, o que pode favorecer sua persistência em ambientes mais restritivos (Santos et al., 2015).

Já a *U. ruziziensis* é conhecida pelo rápido crescimento inicial e por apresentar alta absorção de fósforo. Esse atributo a torna particularmente interessante quando se considera o papel da forrageira na melhoria da disponibilidade de nutrientes no solo, contribuindo para a dinâmica de fertilidade e aproveitamento de recursos no sistema produtivo (Janegitz et al., 2017).

Além das espécies, o desenvolvimento de cultivares tem sido decisivo para ampliar o desempenho das pastagens. A cultivar Marandu, derivada de *U. brizantha*, se consolidou pela combinação entre alto rendimento e ampla adaptação a diferentes solos. Também é apontada por elevar estoques de carbono orgânico no solo, o que reforça sua contribuição para estratégias de mitigação das mudanças climáticas (Masters et al., 2023).

Outras cultivares oriundas de *U. brizantha*, como Paiaguás e Xaraés, são descritas como materiais de alto rendimento e boa qualidade de forragem, características que favorecem seu uso em sistemas de pastejo mais intensivos. Nesse mesmo conjunto de avanços, a Ipyporã é apresentada como cultivar híbrida que combina características de diferentes espécies, buscando maior resistência a pragas e doenças e melhoria do valor nutricional (Ferreira, 2018).

Apesar das vantagens produtivas e agronômicas apresentadas no Quadro 1, o melhoramento de *Urochloa* enfrenta desafios associados à complexidade genética do gênero. A presença de poliploidia e elevada heterozigosidade dificulta o trabalho de seleção e cruzamentos, exigindo ferramentas mais avançadas para acelerar ganhos. Nesse sentido, recursos genômicos, como sequenciamento de nova geração, têm contribuído para construção de mapas genéticos e identificação de marcadores moleculares, apoiando a seleção de características desejáveis (Masters et al., 2023).

Quadro 1. Principais vantagens e desafios das espécies do gênero *Urochloa* utilizadas no Brasil.

Espécie / Cultivar	Vantagens	Desafios
U. brizantha cv. Marandu	Alta produtividade; boa adaptação a diferentes solos; ampla aceitação animal; boa resposta ao manejo rotacionado	Sensível a solos mal drenados; desempenho reduzido sob manejo inadequado
U. brizantha cv. Paiaguás	Bom desempenho na seca; boa qualidade de forragem; estabilidade produtiva	Exige manejo adequado para manter qualidade; menor produção em comparação a cultivares mais altas
U. brizantha cv. Xaraés	Elevada produção de forragem; boa resposta à adubação; adequada para sistemas intensivos	Necessita controle rigoroso da altura de manejo; maior exigência nutricional
U. brizantha cv. Ipyporã	Boa qualidade nutricional; resistência a pragas; bom desempenho em sistemas integrados	Custo inicial mais elevado; exige manejo técnico mais criterioso
U. decumbens	Alta tolerância ao pisoteio; boa adaptação a solos de menor fertilidade; fácil estabelecimento	Menor valor nutritivo; maior risco de degradação quando mal manejada
U. humidicola	Alta tolerância a solos úmidos e mal drenados; persistência em condições adversas	Menor valor nutritivo; menor aceitabilidade animal
U. ruziziensis	Boa qualidade inicial da forragem; facilidade de consórcio; bom sistema radicular	Menor persistência sob pastejo contínuo; exige manejo cuidadoso

Fonte: Elaboração própria.

3.2 ESPÉCIE *MEGATHYRSUS MAXIMUS* E SUAS CULTIVARES

O gênero *Megathyrsus maximus*, anteriormente conhecido como *Panicum maximum*, é amplamente utilizado nos sistemas pecuários brasileiros, especialmente em áreas que buscam maior intensificação produtiva. Cultivares como Mombaça, Tanzânia, Zuri, Quênia, Massai e BRS Tamani

se destacam pela adaptação a diferentes condições ambientais e pelo elevado potencial de produção de forragem, o que justifica sua ampla adoção no país (Costa et al., 2020).

As cultivares desse gênero apresentam diferenças marcantes quanto às exigências nutricionais, tolerância a estresses e capacidade produtiva. Essas variações tornam a escolha do material um ponto estratégico, que deve considerar as condições edafoclimáticas e o nível de manejo adotado, especialmente em sistemas mais intensivos (Reis et al., 2024).

A produtividade das cultivares de *M. maximus* está diretamente relacionada ao manejo nutricional. O potássio é apontado como nutriente-chave, com exigências variando entre cultivares, enquanto o N exerce papel decisivo na produção de massa forrageira, sobretudo quando combinado de forma equilibrada com o potássio (Motta et al., 2023; Reis et al., 2024).

Em relação ao estresse hídrico, as cultivares apresentam respostas distintas. Embora todas demonstrem alguma capacidade de recuperação após déficit de água, a tolerância à inundação varia consideravelmente, com Zuri apresentando maior resistência e Tamani sendo mais sensível a esse tipo de condição (Righi et al., 2024).

O capim-Mombaça é reconhecido pelo alto potencial produtivo, sobretudo quando associado a práticas adequadas de fertilização. Estudos indicam que a resposta à adubação potássica é expressiva, com recomendação de doses elevadas para sustentar a produção de forragem, mantendo rendimento consistente ao longo do ciclo produtivo (Brâncio et al., 2002).

Apesar da elevada produtividade, o Mombaça apresenta particularidades que exigem atenção no manejo. O bom valor nutritivo pode ser acompanhado por teores mais elevados de sílica, o que reforça a necessidade de estratégias adequadas de utilização da forragem para preservar desempenho animal (Reis et al., 2024).

A cultivar Tanzânia, embora apresente produtividade inferior à de cultivares como Mombaça e Zuri, demonstra desempenho satisfatório em determinadas condições. Seu elevado número de folhas perfilhadas e maiores taxas de aparecimento foliar contribuem para a formação de dossel produtivo, favorecendo a colheita eficiente da forragem (Costa et al., 2020).

Além disso, a Tanzânia apresenta bom comportamento agroprodutivo em diferentes ambientes, o que amplia sua aplicabilidade regional. Essa estabilidade em distintas condições edafoclimáticas reforça seu uso em sistemas que priorizam regularidade de produção (Fortes et al., 2014). Portanto o uso do capim Tanzânia apesar do desempenho inclui o impacto da agropecuária nos ecossistemas de pastagens, a necessidade de práticas de manejo específicas e a suscetibilidade a doenças como a mancha foliar. Esses fatores contribuem coletivamente para o declínio no uso da grama da Tanzânia (Mlay et al., 2022).

O capim-Zuri se destaca pela elevada tolerância ao estresse hídrico, apresentando boa capacidade de recuperação após períodos de déficit de água. Essa característica o torna uma alternativa relevante para ambientes sujeitos à irregularidade hídrica (Righi et al., 2024). Do ponto de vista produtivo, Zuri apresenta alto rendimento de matéria seca verde, estimado em 4.317 kg ha^{-1}, posicionando-se entre as cultivares mais produtivas do gênero. Para sustentar esse desempenho, a adubação potássica recomendada é inferior à exigida por Mombaça, o que pode representar vantagem em determinados sistemas (Reis et al., 2024).

A cultivar Quênia apresenta elevada produção de massa seca e altas taxas de expansão foliar, características que indicam boa adaptação a diferentes condições ambientais. Esses atributos favorecem a rápida recomposição do dossel após a desfolha (Costa et al., 2020). Além da produção, o capim-Quênia mantém bom valor nutritivo mesmo sob diferentes intensidades de desfoliação. Essa estabilidade nutricional amplia sua flexibilidade de manejo e seu uso em sistemas de pastejo com maior intensidade (Tesk et al., 2017).

O BRS Tamani apresenta limitações quanto à tolerância à inundação, com redução significativa da produção de forragem em condições de excesso hídrico. Esse comportamento restringe sua indicação para áreas sujeitas a encharcamento prolongado (Righi et al., 2024). Por outro lado, quando manejado adequadamente, o BRS Tamani apresenta bom valor nutritivo e pode se destacar como genótipo promissor em sistemas que priorizam qualidade da forragem, especialmente em situações de manejo mais criterioso (Tesk et al., 2017).

A cultivar Massai é uma gramínea forrageira tropical conhecida por sua adaptabilidade e potencial em sistemas de produção pecuária. É particularmente valorizado por sua degradabilidade de matéria seca e proteína bruta, embora mostre menor degradação para fibra de detergente neutro (Cunha et al., 2022). Isso a torna uma opção de forragem adequada para ruminantes como ovelhas e cabras, especialmente quando manejada em condições específicas de pastoreio. A gramínea também responde bem à fertilização com nitrogênio, o que melhora seu crescimento e qualidade nutricional, tornando-a uma opção viável para intensificar a produção de forragem em climas tropicais (Cardoso et al., 2019).

De forma geral, as cultivares de *M. maximus* apresentam elevado potencial produtivo, mas exigem manejo técnico adequado para expressar esse desempenho. A escolha da cultivar e o ajuste das práticas de manejo são determinantes para maximizar a produção de forragem em ambientes tropicais, conforme disposto no Quadro 2 (Jesus et al., 2020).

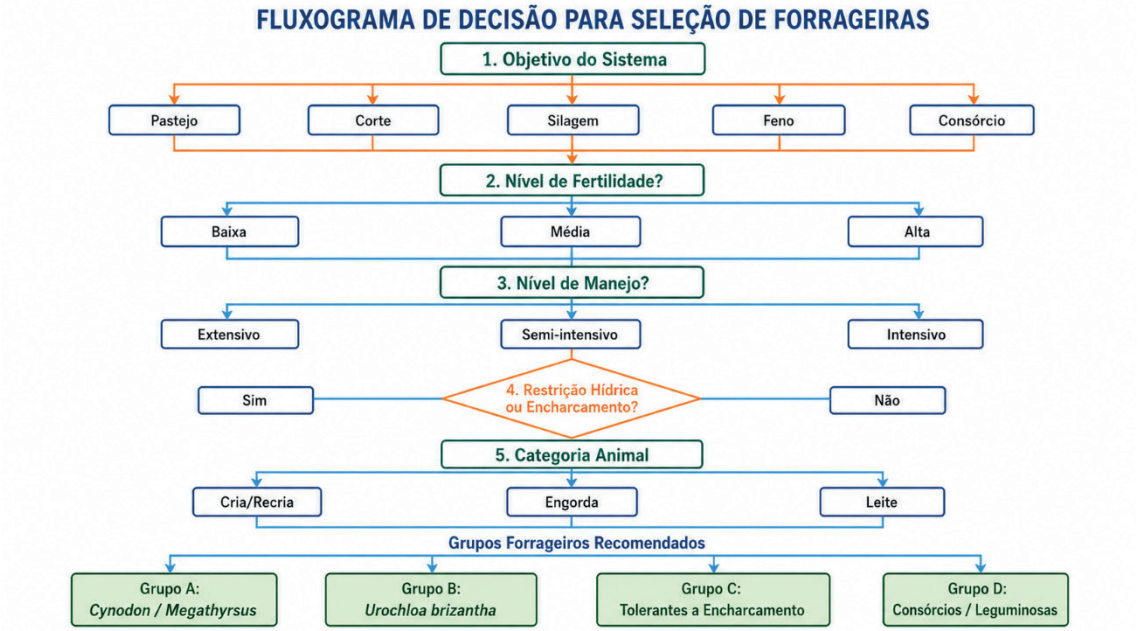
Quadro 2. Principais vantagens e desafios das cultivares do gênero *Megathyrsus maximus* utilizadas no Brasil.

Espécie / Cultivar	Vantagens	Desafios
M. maximus cv. Mombaça	Elevada produção de forragem; bom valor nutritivo quando bem manejado; alta resposta à adubação; indicado para sistemas intensivos	Exige manejo rigoroso de altura; alta demanda nutricional; rápida perda de qualidade quando passa do ponto
M. maximus cv. Tanzânia	Boa adaptação a diferentes condições edafoclimáticas; bom perfilhamento; adequado para pastejo rotacionado	Produtividade inferior a cultivares mais recentes; sensível ao manejo inadequado
M. maximus cv. Zuri	Alta produtividade; boa tolerância ao estresse hídrico; rápida recuperação após déficit de água	Requer manejo técnico preciso; desempenho dependente de boa fertilidade do solo
M. maximus cv. Quênia	Alta produção de massa seca; bom valor nutritivo; boa adaptação a diferentes intensidades de pastejo	Necessita controle de altura para manter qualidade; pode perder valor nutricional se mal manejado
M. maximus cv. BRS Tamani	Bom valor nutritivo; porte mais baixo; permite maior frequência de pastejo	Menor tolerância a encharcamento; produção inferior a cultivares de maior porte
M. maximus cv. Massai	Boa adaptação a ambientes de menor fertilidade; tolerância ao pastejo mais intenso; facilidade de manejo	Menor potencial produtivo; valor nutritivo inferior quando comparado a cultivares de maior porte

Fonte: Elaboração própria.

A escolha da forrageira não deve ser baseada apenas no potencial produtivo da espécie, mas também nas condições do ambiente, no nível de fertilidade do solo, na disponibilidade de manejo, na finalidade de uso e na categoria animal atendida. A Figura 4 sintetiza os principais critérios que podem orientar essa tomada de decisão.

Figura 4. Critérios técnicos para escolha de espécies e cultivares forrageiras em sistemas pecuários tropicais.



Fonte: Elaboração própria, com base em Valle et al. (2009), Jank et al. (2014), Euclides et al. (2014), Costa et al. (2020) e Reis et al. (2024).

3.3 ESPÉCIES DO GÊNERO *CYNODON DACTYLON*

O gênero *Cynodon*, com destaque para as cultivares Tifton 85, Tifton 68, Jiggs e Coastcross, ocupa posição relevante nos sistemas forrageiros brasileiros. Essas gramíneas são amplamente utilizadas pela boa adaptação, elevada produtividade e contribuição direta para a base alimentar da pecuária, sendo fundamentais para a sustentação econômica dos sistemas produtivos (Sanches et al., 2018).

De forma geral, as cultivares de *Cynodon* apresentam diferenças quanto à estrutura do dossel, valor nutritivo e resposta ao manejo. Propagadas predominantemente por via vegetativa (mudas), essas particularidades explicam sua adoção em distintos sistemas, desde pastejo intensivo até uso sob corte, exigindo critérios técnicos na escolha da cultivar mais adequada ao objetivo produtivo (Rezende et al., 2015).

O Tifton 85 se destaca pelo elevado potencial produtivo e alto valor nutricional, sobretudo quando manejado sob irrigação. Nessas condições, apresenta incremento significativo no rendimento e na qualidade da forragem ao longo do ano, favorecendo sistemas com maior exigência nutricional (Sanches et al., 2016). Outro atributo relevante do Tifton 85 é a elevada proporção folha-caule, característica associada à melhor qualidade da forragem quando comparado a outras cultivares do mesmo gênero, como o Jiggs, o que favorece maior consumo e melhor aproveitamento pelos animais (Rezende et al., 2015). Além disso, o Tifton 85 apresenta boa degradabilidade ruminal, o que o torna uma alternativa interessante para dietas pecuárias que buscam maior eficiência na utilização dos nutrientes ingeridos. O mesmo também é usado em várias formas, incluindo a enfenação, para alimentar animais como cavalos, sem efeitos adversos em sua saúde (Guimarães et al., 2016).

O Tifton 68 é reconhecido principalmente pela elevada degradabilidade efetiva da matéria seca, especialmente quando submetido a intervalos de corte mais longos. Essa resposta ao manejo influencia diretamente a qualidade da forragem ofertada ao rebanho. Essa cultivar também apresenta bom desempenho quanto à degradabilidade da fibra, aspecto fundamental para manter a saúde ruminal e a produtividade animal, sobretudo em sistemas intensivos (Oliveira et al., 2013).

O Jiggs apresenta acúmulo sazonal total de forragem semelhante ao do Tifton 85, embora possua relação folha-caule inferior. Essa característica influencia sua qualidade estrutural, mas não inviabiliza seu uso em sistemas bem ajustados. Uma particularidade do Jiggs é a maior proporção de material verde ao longo do ciclo, o que pode ser vantajoso em determinados sistemas de pastagem, principalmente aqueles que priorizam oferta contínua de forragem (Guimarães, 2012). Apesar de apresentar menor degradabilidade efetiva quando comparado a outras cultivares de *Cynodon*, o Jiggs permanece como opção viável devido à sua adaptabilidade e estabilidade produtiva em diferentes condições (Oliveira et al., 2014).

O Coastcross é valorizado por apresentar menor teor de fibras, característica que pode favorecer maior digestibilidade da forragem. Esse atributo amplia seu potencial de uso em dietas que exigem melhor qualidade nutricional. Essa cultivar também demonstra bom desempenho em sistemas forrageiros mistos, como aqueles que incluem *Arachis pintoi* e nessas condições, há melhoria do teor de proteína da dieta e redução de compostos fibrosos, elevando a qualidade do sistema (Fioreli et al., 2018). Entretanto, o Coastcross apresenta degradabilidade efetiva inferior à observada em algumas outras cultivares de *Cynodon*, o que pode limitar seu uso em dietas que demandam maior eficiência de degradação ruminal (Oliveira et al., 2014).

De modo geral, as espécies do gênero *Cynodon* exercem papel estratégico nos sistemas forrageiros brasileiros. Enquanto Tifton 85 e Tifton 68 se destacam pelo valor nutritivo e degradabilidade, Jiggs e Coastcross se diferenciam por características estruturais específicas, aspectos sintetizados no Quadro 3, que auxiliam na escolha da cultivar conforme o manejo e os objetivos nutricionais do sistema (Sanches et al., 2018).

Quadro 3. Principais vantagens e desafios das cultivares do gênero *Cynodon dactylon* utilizadas no Brasil.

Espécie / Cultivar	Vantagens	Desafios
C. dactylon cv. Tifton 85	Alto valor nutritivo; elevada digestibilidade; alta proporção folha-caule; excelente resposta à irrigação e adubação	Exige manejo intensivo; alta demanda nutricional; queda rápida de qualidade quando mal manejado
C. dactylon cv. Tifton 68	Boa degradabilidade da matéria seca; bom desempenho sob cortes mais espaçados; adequada para sistemas intensivos	Menor produtividade em comparação ao Tifton 85; sensível a manejo inadequado
C. dactylon cv. Jiggs	Boa adaptação; elevada produção de massa verde; facilidade de estabelecimento	Menor relação folha-caule; degradabilidade inferior a outras cultivares do gênero
C. dactylon cv. Coastcross	Menor teor de fibras; boa digestibilidade; bom desempenho em sistemas consorciados	Menor degradabilidade efetiva; manejo cuidadoso para manter qualidade da forragem

Fonte: Elaboração própria.

3.4 ESPÉCIES DO GÊNERO *PENNISETUM PURPUREUM* (CAPIM-ELEFANTE)

O *Pennisetum purpureum*, conhecido como capim-elefante, é amplamente utilizado nos sistemas pecuários brasileiros em função da elevada produção de biomassa e do bom valor nutricional. Apresentando propagação vegetativa por meio de mudas (estacas ou colmos) essas características fazem da espécie uma alternativa estratégica para alimentação de ruminantes, atendendo diferentes finalidades produtivas, como pastejo, corte e produção de silagem (Pereira et al., 2017).

Entre as cultivares mais difundidas, o BRS Kurumi se destaca por apresentar porte baixo e entrenós curtos, o que facilita o manejo e o pastejo. Essa cultivar anã apresenta elevada produção de matéria seca, com valores próximos a 29,25 t ha^{-1} ano^{-1}, demonstrando alto potencial produtivo em sistemas bem conduzidos (Pereira et al., 2016).

Do ponto de vista nutricional, o BRS Kurumi apresenta elevada digestibilidade e baixo teor de fibras, atributos que favorecem seu uso em sistemas intensivos baseados em pastagem. Essas características contribuem para maior eficiência de aproveitamento da forragem pelos animais (Paciullo et al., 2015). Em relação ao manejo, o BRS Kurumi é indicado tanto para pastejo quanto para sistemas de corte e transporte. A cultivar responde positivamente à adubação, com aumento linear da produção de matéria seca à medida que ocorre maior reposição de nutrientes no solo (Cardoso et al., 2023).

O BRS Capiaçu apresenta perfil distinto, caracterizando-se pelo crescimento vertical e elevado porte, o que o torna especialmente indicado para silagem e sistemas de corte. Essa cultivar alcança produções elevadas de matéria seca, em torno de 49,75 t ha^{-1} ano^{-1}, além de apresentar resistência ao acamamento, favorecendo a colheita mecanizada (Pereira et al., 2016; Pereira et al., 2017). Esse híbrido se adapta bem a sistemas que demandam grande volume de biomassa aliado à qualidade da forragem. Seu uso é frequente em propriedades que buscam suprimento volumoso eficiente para produção de leite e carne (Pereira et al., 2017).

A cultivar Cameron, por sua vez, é reconhecida pela elevada produção de biomassa e pela boa adaptação a diferentes condições climáticas. Estudos destacam seu potencial produtivo, inclusive com interesse para uso em sistemas voltados à produção de energia, em função do alto rendimento de matéria seca (Morais et al., 2009). Quanto ao valor nutricional, a Cameron apresenta concentrações relevantes de nutrientes, com destaque para maiores teores de glicose em estágios mais avançados de crescimento. Essa característica amplia sua versatilidade, permitindo utilização tanto na produção de forragem quanto em aplicações energéticas (Bach et al., 1995).

No manejo, a cultivar Cameron se mostra bastante versátil, podendo ser utilizada em sistemas de pastagem, corte ou como fonte de biomassa para energia renovável. Essa amplitude de uso reforça sua adaptabilidade e valor econômico em diferentes contextos produtivos (Morais et al., 2009).

De forma geral, as cultivares de *Pennisetum purpureum* evidenciam o potencial diversificado do capim-elefante nos sistemas agrícolas. Enquanto BRS Kurumi e BRS Capiaçu se destacam pela eficiência forrageira e pelo manejo voltado à produção de leite e carne, a cultivar Cameron amplia as possibilidades de uso ao incluir aplicações energéticas, conforme apresentado no Quadro 4 (Morais et al., 2009).

Quadro 4. Principais vantagens e desafios das cultivares do gênero *Pennisetum purpureum* utilizadas no Brasil.

Espécie / Cultivar	Vantagens	Desafios
P. purpureum cv. BRS Kurumi	Alto valor nutritivo; elevada digestibilidade; porte baixo que facilita o manejo; adequado para pastejo e corte	Menor produção de biomassa quando comparado a cultivares de porte alto; exige adubação e manejo frequentes
P. purpureum cv. BRS Capiaçu	Elevada produção de biomassa; ideal para silagem e corte; resistência ao acamamento; boa adaptação à colheita mecanizada	Manejo restrito a sistemas de corte; menor flexibilidade para pastejo direto; exige planejamento de colheita
P. purpureum cv. Cameron	Alta produção de matéria seca; ampla adaptação climática; potencial para uso forrageiro e energético	Valor nutritivo variável com o estádio de crescimento; manejo inadequado reduz qualidade da forragem

Fonte: Elaboração própria.

3.5 LEGUMINOSAS FORRAGEIRAS

As leguminosas forrageiras ocupam papel estratégico nos sistemas pecuários brasileiros por contribuírem simultaneamente para a melhoria da fertilidade do solo e para a oferta de forragem de alta qualidade. Espécies como amendoim forrageiro, guandu, *Stylosanthes* e leucena são reconhecidas por apoiar sistemas produtivos mais sustentáveis, sobretudo em ambientes tropicais, onde a eficiência no uso de nutrientes é determinante (Valle et al., 2009).

Nos sistemas pecuários tropicais, as leguminosas forrageiras exercem função complementar às gramíneas, contribuindo para a fixação biológica de nitrogênio, melhoria da qualidade da dieta, ciclagem de nutrientes e redução da dependência de fertilizantes nitrogenados. Essas interações estão representadas na Figura 5.

Figura 5. Contribuições das leguminosas forrageiras para a qualidade da dieta, fertilidade do solo e sustentabilidade das pastagens tropicais.



Fonte: Elaboração própria, com base em Valle et al. (2009), Rao et al. (2014), Vendramini et al. (2015), Ibrahim e Usman (2021) e Homem et al. (2024).

O amendoim forrageiro (*Arachis pintoi*) tem se destacado por sua capacidade de elevar a produtividade e a sustentabilidade das pastagens quando consorciado com gramíneas. Trata-se de uma leguminosa estolonífera que melhora a ingestão e a digestibilidade dos nutrientes pelos bovinos, contribuindo para maior desempenho animal sem a necessidade de fertilizantes nitrogenados, além de reduzir emissões de metano e gases de efeito estufa (Homem et al., 2024).

O guandu (*Cajanus cajan*), também conhecido como feijão-bóer, é uma leguminosa versátil utilizada como forragem, adubo verde e componente de recuperação da fertilidade do solo. Sua capacidade de fixação biológica de N favorece sistemas tropicais, fornecendo forragem com bom teor proteico; entretanto, sua adoção ainda é limitada por características como estabelecimento mais lento e exigência de manejo específico (Paulino et al., 2008).

O *Stylosanthes guianensis* é uma leguminosa amplamente utilizada em pastagens brasileiras, especialmente por sua boa adaptação às condições tropicais. Além de contribuir para a melhoria da saúde do solo via fixação de N, destaca-se pela produção de forragem com elevado teor de proteína, sendo adequada tanto para sistemas de corte quanto de pastejo em bovinos de corte e leite (Valle et al., 2009).

A leucena (*Leucaena leucocephala*) é reconhecida pelo elevado valor nutritivo e múltiplos usos, incluindo forragem, lenha e controle da erosão. Apresenta alto teor de proteína e boa palatabilidade, o que a torna atrativa para ruminantes; contudo, sua utilização exige cuidados devido à presença de mimosina, um fator antinutricional que pode causar toxicidade em animais não adaptados (Machado et al., 1978; Shelton; Brewbaker, 1994).

Apesar dos benefícios produtivos e ambientais, a adoção das leguminosas forrageiras ainda enfrenta desafios relacionados ao estabelecimento, ao manejo específico e a limitações nutricionais. Esses aspectos, apresentados no Quadro 5, reforçam a importância de esforços contínuos de pesquisa e desenvolvimento para ampliar a adaptabilidade, a persistência e a produtividade dessas espécies nos sistemas pecuários brasileiros (Valle et al., 2009).

Quadro 5. Principais vantagens e desafios das leguminosas forrageiras utilizadas no Brasil.

Espécie	Vantagens	Desafios
Amendoim forrageiro (*A. pintoi*)	Eleva a qualidade da dieta; fixa nitrogênio; melhora a digestibilidade; reduz emissões de metano quando consorciado com gramíneas	Estabelecimento mais lento; sensível à competição inicial; exige manejo cuidadoso do consórcio
Guandu (*C. cajan*)	Alta fixação de nitrogênio; bom teor de proteína; uso como forragem e adubo verde; melhora a fertilidade do solo	Estabelecimento lento; manejo específico; menor persistência sob pastejo intenso
Stylosanthes guianensis	Boa adaptação a ambientes tropicais; bom teor proteico; contribui para a saúde do solo; boa persistência	Sensível a doenças em algumas cultivares; exige seleção adequada do material
Leucena (*L. leucocephala*)	Elevado teor de proteína; alta palatabilidade; múltiplos usos (forragem, lenha, controle de erosão)	Presença de mimosina; manejo específico; limitação em solos ácidos e regiões frias

Fonte: Adaptado de Valle et al. (2009).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As pastagens são o principal suporte da pecuária tropical brasileira, garantindo produção de carne e leite com eficiência econômica e adaptação às condições ambientais do país. O desempenho dos sistemas a pasto depende diretamente da escolha adequada das espécies forrageiras e do manejo adotado, que determinam produtividade, estabilidade e aproveitamento dos recursos disponíveis.

Além de sustentarem a produção animal, as pastagens contribuem para a conservação do solo, a ciclagem de nutrientes e a sustentabilidade dos sistemas produtivos. O uso de leguminosas forrageiras amplia a qualidade da dieta e fortalece a intensificação sustentável, desde que haja planejamento e manejo apropriados.

Assim, a pecuária baseada em pastagens exige decisões técnicas bem fundamentadas para garantir produtividade, sustentabilidade e competitividade no longo prazo.

DECLARAÇÃO DE USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Os autores declaram que utilizaram a ferramenta ChatGPT, da OpenAI, modelo GPT-5.5 Thinking, como apoio na elaboração deste capítulo, especialmente na organização textual, revisão da redação acadêmica e elaboração de figuras, esquemas e elementos visuais.

Todo o conteúdo textual e visual produzido com apoio da IA foi revisado, ajustado e validado pelos autores, que assumem integral responsabilidade pelo capítulo. A Inteligência Artificial não foi considerada autora ou coautora.

REFERÊNCIAS

ABREU, U.; GREGO, C. R.; FASIABEN, M. do C. R.; GOMES, E.; ALMEIDA, M. M. T. B.; OLIVEIRA, O. C. **Beef cattle stocking rate, a key to the conservation of the pastoral system in Brazilian biomes**. 2015. Disponível em: http://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1017878. Acesso em: 21 jan. 2026.

ARGEL, P. Contribution of improved pastures to animal productivity in dual purpose systems. **Archivos Latinoamericanos de Producción Animal**, v. 14, n. 2, p. 65-72, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNES. **Beef Report 2025**: perfil da pecuária no Brasil. São Paulo: ABIEC, 2025.

BACH, E. E.; ALCÂNTARA, V. B. G.; ALCÂNTARA, P. B.; VEASEY, E. A. Biochemical and isoenzyme analyses of elephant grass, *Pennisetum purpureum* (Schum.) varieties. **Scientia Agricola**, v. 52, n. 3, p. 528-533, 1995.

BARBOUR, R. J.; YOUNG, R. H.; WILKINSON, J. M. Production of meat and milk from grass in the United Kingdom. **Agronomy**, v. 12, n. 4, p. 914, 2022.

BELL, L. W.; HAYES, R.; PEMBLETON, K. G.; WATERS, C. **Diversity, trends, opportunities and challenges in Australian grasslands: meeting the sustainability and productivity imperatives of the future?** 2013. p. 28-43. Disponível em: https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20153365177. Acesso em: 21 jan. 2026.

BRÂNCIO, P. A.; JÚNIOR, D. do N.; EUCLIDES, V. P. B.; REGAZZI, A. J.; ALMEIDA, R. G. de; FONSECA, D. M. da; BARBOSA, R. A. Avaliação de três cultivares de *Panicum maximum* Jacq. sob pastejo: composição química e digestibilidade da forragem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 4, p. 1605-1613, 2002.

CARDOSO, R. R.; SOUSA, L. F.; FERREIRA, A. C. H.; NEIVA, J. N. M.; FERREIRA, D. A.; SILVA, A. G. M. e; NÓBREGA, E. B. da; SILVA, T. V. S. Short-term evaluation of Massai grass forage yield and agronomic characteristics and sheep performance under rotational grazing with different pre-grazing canopy heights. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. 3, p. 1339–1356, 2019. DOI: https://doi.org/10.5433/1679-0359.2019v40n3p1339.

CARDOSO, S.; OLIVEIRA, V. C. de; GAMA, T. da C. M. Desempenho produtivo do capim-elefante cv. BRS Kurumi sob cortes em diferentes doses de adubação de reposição. **Uniciências**, v. 27, n. 1, p. 58–62, 2023. DOI: https://doi.org/10.17921/1415-5141.2023v27n1p58-62.

SANCHES, C. A.; PEREIRA GOMES, E.; RICKLI, M. E.; FRISKE, E. Produtividade, composição botânica e valor nutricional do Tifton 85 nas diferentes estações do ano sob irrigação. **Irriga**, v. 1, n. 1, p. 221–232, 2018. DOI: https://doi.org/10.15809/irriga.2016v1n1p221-232.

COSTA, F. P. Natureza econômica e impacto das pastagens no custo de produção da pecuária de corte. Campo Grande: **Embrapa Gado de Corte**, 2010. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/873040/1/DOC181.pdf. Acesso em: 21 jan. 2026.

COSTA, N. de L.; JANK, L.; MAGALHÃES, J. A.; BENDAHAN, A. B.; RODRIGUES, B. H. N.; SANTOS, F. J. de S. Forage yield and morphogenesis of Megathyrsus maximus cultivars in Roraima's savannas. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, e69985308, 2020. DOI: https://doi.org/10.33448/rsd-v9i8.5308.

CUNHA, A. M. Q.; MACEDO, V. H. M.; OLIVEIRA, J. K. S. de; MÉLO, D. de B. M.; DOMINGUES, F. N.; CÂNDIDO, E. P.; FATURI, C.; RÊGO, A. C. do. Nitrogen fertilisation as a strategy for intensifying production and improving the quality of Massai grass grown in a humid tropical climate. **Journal of Plant Nutrition**, v. 45, n. 14, p. 2213–2227, 2022. DOI: https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2046078.

DISTEL, R. A.; ARROQUY, J. I.; LAGRANGE, S.; VILLALBA, J. J. Designing diverse agricultural pastures for improving ruminant production systems. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 4, 596869, 2020. DOI: https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.596869.

FELTRAN-BARBIERI, R.; FÉRES, J. G. Degraded pastures in Brazil: improving livestock production and forest restoration. **Royal Society Open Science**, v. 8, n. 7, p. 201854, 2021.

FERREIRA, R. C. U. Genetic-genomic studies in *Urochloa decumbens*: an important tropical forage grass. 2018. 152 f. Tese (Doutorado em Genética e Biologia Molecular) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2018.

FIORELI, A. B.; ZIECH, M. F.; FLUCK, A. C.; GEREI, J. C.; COL, D.; BERNS, L.; HOFFMANN, F.; COSTA, O. A. D. Valor nutritivo de gramíneas do gênero *Cynodon* consorciadas com amendoim forrageiro. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 70, n. 6, p. 1970–1978, 2018. DOI: https://doi.org/10.1590/1678-4162-10048.

FORTES, D.; GARCÍA, C.; CRUZ, A. M.; GARCIA, M. M.; ROMERO, A. Comportamiento morfoagronómico de tres variedades forrajeras de *Megathyrsus maximus* en el período lluvioso. **Pastos y Forrajes**, v. 48, n. 3, p. 293-296, 2014.

FREDDI, O. D. S.; ZANUZO, M. R.; CARNEIRO E PEDREIRA, B.; BARROS, I. T. M. D. Pesquisas avançadas com integração de sistemas de produção vegetal e animal. In: FREDDI, O. D. S. (org.). **Pesquisas avançadas para produção animal e vegetal sustentável**. v. 1. Goiânia: Editora Científica Digital, 2024. p. 53–61. DOI: https://doi.org/10.37885/241218338.

GOMES DE ALMEIDA, P.; OLIVEIRA DE ANDRADE, S.; FARIAS SOARES SOUSA, L. C.; PONTES GOMES, C. A.; COELHO MOURA GOMES, J.; BORBA BORGES, M. da G.; VIEIRA FERREIRA, R. T. F.; SALGADO, A. B. The contribution of rotational grazing for environmental sustainability. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, v. 6, n. 1, p. 11-17, 2012.

GUIMARÃES, M. S. Desempenho produtivo, análise de crescimento e características estruturais do dossel de dois capins do gênero *Cynodon* sob duas estratégias de pastejo intermitente. 2012. 123 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

GUIMARÃES, T. C.; REZENDE, A. S. C.; COSTA, M. L. L.; FERREIRA, M. G.; SOTO-BLANCO, B.; MELO, M. M. Hematological panel of Quarter Horse mares fed Tifton 85 (*Cynodon* spp.) hay and haylage. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 68, n. 6, p. 1479–1486, 2016. DOI: https://doi.org/10.1590/1678-4162-8731.

HIGGINS, J.; TOMASZEWSKA, P.; PELLNY, T. K.; CASTIBLANCO, V.; ARANGO, J.; TOHME, J.; DE VEGA, J. J. The five *Urochloa* spp. used in development of tropical forage cultivars originate from defined subpopulations with differentiated gene pools. **bioRxiv**, 2021. DOI: https://doi.org/10.1101/2021.07.21.453213.

HOMEM, B. G. C.; BORGES, L. P. C.; DE LIMA, I. B. G.; GUIMARÃES, B. C.; SPASIANI, P. P.; FERREIRA, I. M.; MEO-FILHO, P.; BERNDT, A.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M.; CASAGRANDE, D. R. Forage peanut legume as a strategy for improving beef production without increasing livestock greenhouse gas emissions. **Animal**, v. 18, n. 5, 101158, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.animal.2024.101158.

HUGHES, M. P.; JENNINGS, P. G.; MLAMBO, V.; LALLO, C. H. Mitigating the nutritional limitations to animal production from tropical pastures: a review. **Tropical Animal Health and Production**, v. 45, n. 5, p. 1079–1087, 2013. DOI: https://doi.org/10.1007/s11250-013-0346-8.

IBRAHIM, K. H.; USMAN, L. A. Management practices of pasture, range and grazing reserves for livestock production in the tropics: a review. **American Journal of Entomology**, v. 5, n. 2, p. 18–26, 2021. DOI: https://doi.org/10.11648/j.aje.20210502.11.

JANEGITZ, M. C.; ROSOLEM, C. A.; FERREIRA-ELOY, N. R. Espécies de Urochloa afetam diferencialmente a disponibilidade de fósforo no solo. **Colloquium Agrariae**, v. 13, n. 2, p. 34-40, 2017.

JANK, L.; BARRIOS, S. C. L.; VALLE, C. B. do; SIMEÃO, R. M.; ALVES, G. F. The value of improved pastures to Brazilian beef production. **Crop & Pasture Science**, v. 65, n. 11, p. 1132-1137, 2014.

JAYASINGHE, P.; RAMILAN, T.; DONAGHY, D.; PEMBLETON, K. G.; BARBER, D. G. Comparison of nutritive values of tropical pasture species grown in different environments, and implications for livestock methane production: a meta-analysis. **Animals**, v. 12, n. 14, 1806, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/ani12141806.

JESUS, A. A. de; BUENO, L. G.; VEGA, W. H. O.; DINIZ, F. M. Ferramentas moleculares no melhoramento genético de *Megathyrsus maximus* para o semiárido: uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 10, e949108178, 2020. DOI: https://doi.org/10.33448/rsd-v9i10.8178.

LIMA, V. G. B. de; LIMA, E. da S.; VALENTE, T. N. P. Agroecologia como ferramenta de sustentabilidade nas pastagens. **Revista Augusto Guzzo**, v. 3, n. 2, p. 44-47, 2015.

LOOR-CEVALLOS, E. J.; LÓPEZ-YUGCHA, F. A.; CAMPOZANO-MARCILLO, G. A. Bromatología de tres edades de pastos perennes (*Panicum* sp.) y (*Brachiaria* cv.) en la producción animal. **Revista de Ciencias Agropecuarias ALLPA**, v. 8, n. 15, p. 2-14, 2025.
MACHADO, R.; MILERA, M.; MENÉNDEZ, J.; TRUJILLO, R. G. Leucaena (*Leucaena leucocephala* – Lam. de Wit). **Pastos y Forrajes**, Matanzas, Cuba, v. 1, n. 3, p. 321–347, set. 1978.

MARCHÃO, R. L.; MENDES, I. C.; VILELA, L.; JÚNIOR, R. G.; NIVA, C. C.; PULROLNIK, K.; DE CARVALHO, A. M. Integrated crop–livestock–forestry systems for improved soil health, environmental benefits, and sustainable production. In: **Soil health series: volume 3: soil health and sustainable agriculture in Brazil**. Cham: Springer, 2024. p. 19–61. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-39467-5_2.

MASTERS, L. E.; TOMASZEWSKA, P.; SCHWARZACHER, T.; ZUNTINI, A. R.; HESLOP-HARRISON, P.; VORONTSOVA, M. S. Phylogenomic analysis reveals the evolutionary origins of five independent clades of forage grasses within the African genus *Urochloa*. **bioRxiv**, 2023. DOI: https://doi.org/10.1101/2023.07.03.547487

MENÉNDEZ DE LUARCA, S. Producción animal con base en pastos. **Pastos**, v. 12, n. 2, p. 219-227, 2011.

MESQUITA DA SILVA, G.; FERREIRA DA SILVA, F.; TEIXEIRA VIANA, P.; SANTANA DE OLIVEIRA RODRIGUES, E.; NERIS MOREIRA, C.; ALMEIDA MENESES, M. de; SOUZA ABREU JÚNIOR, J. de; ARAÚJO RUFINO, C. de; SILVA BARRETO, L. da. Avaliação de forrageiras tropicais: revisão. **PUBVET**, v. 10, n. 3, p. 190-196, 2016.

MLAY, J. A.; KUWI, S. O.; MALEKO, D.; MTENGETI, E. J. Incidência da doença da mancha foliar fúngica em capim-búfalo (*Cenchrus ciliaris*) em pastagens selecionadas na Tanzânia. **Multidisciplinary Science Journal**, v. 4, n. 4, p. 1–7, 2022.

MORAIS, R. F.; ZANETTI, J. B.; JANTALIA, C. P.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J.; URQUIAGA, S. Produção e qualidade da biomassa de diferentes genótipos de capim-elefante cultivados para uso energético. **Cadernos de Agroecologia**, v. 4, n. 1, 2009.

MOTTA, L. J. M.; MOTA, L. G.; GOMES, L. D.; ALVES-SILVA, G. B.; MOURA, A. B. O.; CAMARGO, S. P.; CABRAL, C. E. A. Nitrogênio e potássio na adubação de manutenção de cultivares de *Megathyrsus maximus*. **Scientific Electronic Archives**, v. 16, n. 10, p. 20-26, 2023. DOI: http://dx.doi.org/10.36560/161020231791

NASCIMENTO, D. B. DO., LOPES, M. L. S., IZIDRO, J. L. P. S., BEZERRA, R. C. A., GOIS, G. C., AMARAL, T. N. E. DDE. DIAS, W. DA S., BARROS, M. M. L. DE., OLIVEIRA, A. R. DA S., FARIAS SOBRINHO, J. L. DE., & COÊLHO, J. J. Nitrogen, phosphorus, and potassium cyclingDE. pasture ecosystems. **Ciência Animal Brasileira**, vDE., p. e–76743, 2024.

NASCIMENTO, F. J. L. D.; COSTA, G. M. N.; SOUSA, M.; PEREIRA, Y. N.; NETO, O. C. Degradação de pastagens: causas, consequências e caminho para a recuperação. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, v. 8, n. 1, p. 1-12, 2025.

OLIVEIRA, E. R. de; MONÇÃO, F. P.; TONISSI, R. H. de; GÓES, B.; ARAÚJO GABRIEL, A. M. de; MOURA, L. V.; TOCHETTO, A. T. C. Degradação ruminal da fibra em detergente neutro de gramíneas do gênero *Cynodon* spp. em quatro idades de corte. **Agrarian**, v. 6, n. 20, p. 205–214, 2013.

OLIVEIRA, E. R.; MONÇÃO, F. P.; GABRIEL, A. M.; MOURA, L. V.; LEMPP, B.; SANTOS, M. V.; SOUZA, R. de. Degradação ruminal da biomassa de fenos de gramíneas do gênero *Cynodon* spp. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 37, n. 2, p. 214–220, 2014.

PACIULLO, D. S. C.; GOMIDE, C. D. M.; MORENZ, M. J. F.; ANDRADE, D. D. A.; ANDRADE, P. J. M.; LÉDO, F. D. S.; PEREIRA, A. V. Características do pasto e desempenho de novilhas leiteiras em pastagem de capim-elefante cv. BRS Kurumi. Juiz de Fora: **Embrapa Gado de Leite**, 2015. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 35).

PAULINO, V. T.; GERDES, L.; VALARINI, M. J.; FERRARI JUNIOR, E. Retrospectiva do uso de leguminosas forrageiras. **PUBVET**, v. 2, n. 1, p. 1–37, 2008.

PEREIRA, A. V.; LÉDO, F. J. da S.; MACHADO, J. C. BRS Kurumi and BRS Capiaçu – new elephant grass cultivars for grazing and cut-and-carry system. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, n. 1, p. 59-62, 2017. DOI: 10.1590/1984-70332017v17n1c9.

PEREIRA, A. V.; LÉDO, F. J. da S.; MORENZ, M. J. F.; LEITE, J. L. B.; BRIGHENTI, A. M.; MARTINS, C. E. BRS Capiaçu: cultivar de capim-elefante de alto rendimento para produção de silagem. Juiz de Fora: **Embrapa Gado de Leite**, 2016. (Comunicado Técnico).

RAO, I.; PETERS, M.; VAN DER HOEK, R.; SUBBARAO, G. V.; CADISCH, G.; RINCÓN, A. Tropical forage-based systems for climate-smart livestock production in Latin America. **Rural 21 – The International Journal for Rural Development**, n. 4, p. 12–15, 2014.

REZENDE, A. V. de; RABÊLO, F. H. S.; RABELO, C. H. S.; LIMA, P. P.; ÁVILA BARBOSA, L. de; CARVALHO ABUD, M. de; SOUZA, F. R. C. Características estruturais, produtivas e bromatológicas dos capins Tifton 85 e Jiggs fertilizados com alguns macronutrientes. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 3, p. 1507–1518, 2015. DOI: https://doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n3p1507.

RIGHI, R. S. M.; GOMES, L. D.; MOTA, L.; DUARTE, C. F. D.; CABRAL, C. H. A.; CABRAL, C. E. A. Tolerância de cultivares de *Megathyrsus maximus* ao estresse hídrico. **Nativa**, v. 12, n. 2, p. 249-254, 2024.

SANTOS, J. C. S.; BARRETO, M. A.; OLIVEIRA, F.; VIGNA, B. B. Z.; SOUZA, A. P. de. Microsatellite markers for *Urochloa humidicola* (Poaceae) and their transferability to other Urochloa species. BMC Research Notes, v. 8, n. 1, p. 83, 2015

SANTOS, S. A.; CARDOSO, E. L.; CRISPIM, S. M. A.; SORIANO, B. M. A.; GARCIA, J. B.; BERSELLI, C. Protocolo: índice de conservação e produtividade das pastagens (ICPP) para a Fazenda Pantaneira Sustentável (FPS). Corumbá: **Embrapa Pantanal**, 2014.

SEVOV, A.; YANCHEVA, C.; KAZAKOVA, Y. Sustainable pasture management. In: EDVAN, R. L.; BEZERRA, L. R. (org.). **New perspectives in forage crops**. London: IntechOpen, 2018. p. 187–201. DOI: 10.5772/intechopen.72310.

SHELTON, H. M.; BREWBAKER, J. L. *Leucaena leucocephala* – the most widely used forage tree legume. In: GUTTERIDGE, R. C.; SHELTON, H. M. (org.). **Forage tree legumes in tropical agriculture**. Wallingford: CAB International, 1994. p. 15–29.

SILVA, J. J. da; CARVALHO, D. M. G. de; GOMES, R. A. B.; RODRIGUES, A. B. C. Produção de leite de animais criados em pastos no Brasil. **Veterinária e Zootecnia**, v. 17, n. 1, p. 26-36, 2010.

SILVEIRA, M. C. T. da; SANTOS, F. C. dos; ALBUQUERQUE FILHO, M. R. de; ALMEIDA, R. G. de; ALVES, F. V.; VILELA, L.; BARBOSA, T. A.; PINTO, C. F.; FEIJÓ, G. L. D.; SIMEÃO, R. M. Beef production with low carbon emission in tropical pastures: a case study for the validation of guidelines. In: CONGRESSO MUNDIAL SOBRE SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA, 2., 2021. **Anais**... Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; Embrapa, 2021. Evento online. p. 169.

SOUSA REIS, L. T.; MARTINS ALENCAR, N.; RODRIGUES DE OLIVEIRA, H. M.; SILVA CARNEIRO, R.; BARBALHO ANDRÉ, T.; CLEMENTINO DOS SANTOS, A. Adubação potássica de cultivares de *Megathyrsus maximus*. **Nativa**, v. 12, n. 1, p. 97–101, 2024. DOI: https://doi.org/10.31413/nativa.v12i1.16009.

TESK, C. R. M.; RAMOS, T. A.; SCHMIDT JÚNIOR, R. J.; ARAGÃO, L. S.; CARVALHO, P. de; PEREIRA, D. H.; PINA, D. dos S.; PEDREIRA, B. C. Valor nutritivo dos capins Quênia e Tamani sob diferentes intensidades de desfolhação. In: **SIMPÓSIO MATOGROSSENSE DE BOVINOCULTURA DE CORTE**, 4., 2017, Cuiabá. Anais [...]. Cuiabá: SIMBOV, 2017. Disponível em: http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1086470. Acesso em: 21 jan. 2026.

VALLE, C. B. do; JANK, L.; RESENDE, R. M. S. O melhoramento de forrageiras tropicais no Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 56, n. 4, p. 460-472, 2009.

VENDRAMINI, J. M. B.; DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; SILVEIRA, M. L. Ciclagem de nutrientes em pastagens tropicais. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 2, p. 308-315, 2015.

DEGRADAÇÃO E RECUPERAÇÃO DE PASTAGENS: CAUSAS, EFEITOS E RECUPERAÇÃO

10.56238/livrosindi2026111-002

Allaor Francisco Nunes de Almeida Fraga
Fábio Silva Carneiro
Rodrigo Zaiden Taveira
Alessandro José Marques Santos
Arthur Gabriel Teodoro

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é amplamente conhecido por sua capacidade produtiva, suas relevantes reservas naturais, além de ser um dos maiores exportadores de commodities, dentre estas, destaca-se a carne bovina. Esse alimento também possui uma característica singular, a maior parte da produção é decorrente de sistemas de pastoreio, tendo as pastagens como sua principal fonte de nutrição, reduzindo custos e entregando competitividade no mercado internacional. Entretanto, a utilização de pastagens sem suporte técnico, lotação inadequada, bem como ausência de ações conservacionistas, culminam em degradação e consequentemente geram um déficit, ou mesmo uma inviabilidade produtiva ao longo do tempo (Silva et al., 2024a).

Para que a produção nacional detenha cada vez mais recordes de exportação de carne bovina, consolidando-se como o celeiro do mundo, é necessário adotar medidas que protejam e garantam a longevidade das pastagens. De acordo com Mapbiomas (2024) e a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (2024), a nação brasileira possui o maior rebanho comercial do mundo com cerca de 238 milhões de cabeças, além de cerca de 155 milhões de hectares de pastagem, configurando uma lotação média baixa quando comparado a outros países competitivos. Essa característica, aliada à necessidade urgente da preservação dos ecossistemas, sinaliza a necessidade de verticalizar a produção bovina ante abertura de novas áreas (Arantes et al., 2018).

O mercado internacional apresenta exigências crescentes quanto à qualidade da carne, demandando do rebanho nacional a produção de carcaças padronizadas, animais jovens e garantias de sustentabilidade nos sistemas produtivos (Viana; Azeredo, 2025). Nesse sentido, a intensificação tem relação direta com animais bem terminados, preservação dos recursos naturais, bem como a necessidade de renovar ou recuperar áreas de pastagens degradadas, evitando que regiões se tornem improdutivas (Silva et al., 2024b).

A degradação de pastagens é causada por vários fatores, podendo ocorrer desde o uso prolongado da terra, sem os cuidados com o manejo, ausência de adubação, e o tempo de exposição ao pastoreio, cenário que comumente se agrava quando não é fornecida a suplementação auxiliar aos bovinos. Essas ações, associadas ao uso extensivo da terra, levam a uma série de efeitos que estão diretamente ligadas aos sintomas de degradação (Siste et al., 2023).

À medida que o nível de degradação avança, um dos efeitos mais frequentes é a infestação por plantas invasoras, sendo um indicador dessa problemática que se explica pela menor exigência nutricional da categoria de plantas em relação às forrageiras cultivadas. Outro fator apontado tem relação com a consequência de uma área com maior pisoteio, compactação e exposição, levando o solo a iniciar processos erosivos, ampliando assim, o processo de degradação já existente (Silva et al., 2024a).

Segundo Oliveira et al. (2021), esses fatores citados, associados ao manejo inadequado de tecnologias, também contribuem para a aceleração da desertificação. Além dos impactos ambientais, a degradação implica em elevados custos econômicos à pecuária. Pastos enfraquecidos reduzem o ganho de peso animal, aumentam o tempo de abate, elevam a pressão por abertura de novas áreas e comprometem a sustentabilidade dos sistemas produtivos. Nesse cenário, a recuperação de pastagens deixa de ser apenas uma prática de correção local e passa a ser um componente estratégico da intensificação sustentável da pecuária nacional (Siste et al., 2023).

Alguns programas como a agricultura de baixo carbono e tecnologias aplicadas em campo, integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), vêm sendo promovidas justamente para transformar áreas degradadas em sistemas mais produtivos, resilientes e ambientalmente equilibrados (Minighin et al., 2017).

Objetiva-se com este capítulo apresentar medidas e inciativas que promovam a compreensão da dinâmica de degradação das pastagens, por meio de diagnósticos do seu estado atual, além de propor aplicações estratégicas para sua recuperação.

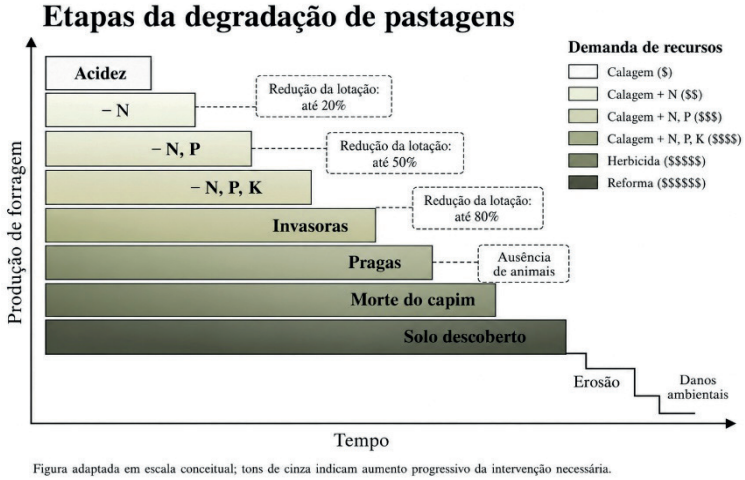
2 DINÂMICA E CAUSAS DA DEGRADAÇÃO DE PASTAGENS

A degradação de pastagens é caracterizada pela redução gradual da produtividade e da capacidade de restabelecimento do sistema forrageiro, diretamente associada ao uso contínuo das áreas sem manejo adequado e sem a reposição dos nutrientes removidos pelo pastejo. Esse processo manifesta-se pela redução do vigor das espécies cultivadas, menor cobertura do solo e aumento da ocorrência de plantas indesejáveis, além da deterioração das condições físicas, químicas e biológicas do solo. Como consequência, há comprometimento do desempenho da pastagem e diminuição da capacidade de suporte ao longo do tempo (Nascimento Júnior; Queiroz; Santos, 1994).

Esse colapso da planta compromete a recuperação natural do solo e, consequentemente, a manutenção dos níveis produtivos. Além disso, essa condição afeta a qualidade da pastagem e prejudica os parâmetros nutricionais dos animais destinados à cria. Entretanto, o processo não ocorre subitamente, pois a degradação é um efeito cascata e decorre de uma série de fatores que, interligados, resultam em perda significativa de potencial produtivo, uma perda progressiva da interação entre o solo, planta e animal (Minighin et al., 2017).

Na Figura 1, verifica-se o processo que está relacionado à acidez do solo e à deficiência de nutrientes, evoluindo, na ausência de manejo adequado, para a ocorrência de plantas invasoras, pragas, morte do capim, solo descoberto e erosão. Como consequência, há diminuição da capacidade de suporte da área e aumento do custo de recuperação, evidenciando a importância de intervenções precoces para manter a produtividade e evitar danos mais severos.

Figura 1. Etapas do processo de degradação das pastagens.



Fonte: Adaptado de Macedo (1999); Dias-Filho (2025).

O solo exerce papel fundamental nesse contexto, uma vez que a degradação está diretamente associada à perda de nutrientes, à compactação e ao esgotamento de sua estrutura física. Segundo Silva et al. (2024a), áreas não degradadas apresentaram maior infiltração de água quando comparadas às áreas que contêm algum nível de degradação. Parte disso se deve pela compactação decorrente do pisoteio dos animais que necessitam caminhar por períodos prolongados em busca de alimento.

No sistema extrativista, caracterizado pela baixa ou inexistente reposição de nutrientes e pela limitada adoção de tecnologias, ocorre um processo de mineração do solo. Nesse contexto, grande parte do seu potencial produtivo é exportada para as plantas e, posteriormente, para os animais, sem a devida reposição, o que culmina em redução gradual da fertilidade do solo. Nas áreas degradadas, devido à baixa infiltração, o escoamento superficial aumenta, causando um *feedback* negativo que ao não absorver a água, escoa nutrientes, intensificando a incidência de erosões e comprometendo ainda mais o desenvolvimento das plantas forrageiras (Oliveira et al., 2021).

De acordo com Teixeira e Gomes (2022), é possível notar a existência da degradação pelo comportamento de alguns fatores, como o distúrbio fisiológico da planta, a mudança da composição botânica e a invasão de plantas daninhas. Essas mudanças ocorrem quando a planta forrageira é submetida a um manejo inadequado, como o superpastejo e a deficiência de nutrientes, reduzindo o seu vigor, a sua capacidade de rebrota e a produção de perfilhos.

Com a perda de competitividade da forrageira cultivada, surgem os espaços no dossel que favorecem a entrada de plantas invasoras, promovendo a mudança na composição botânica da pastagem. Esse processo resulta na substituição gradual das espécies desejáveis por plantas menos produtivas e de menor valor nutritivo, caracterizando o avanço da degradação, levando a desertificação (Nascimento Júnior; Queiroz; Santos, 1994).

Conforme a desertificação se intensifica, ocorre a redução ou até o desaparecimento de espécies vegetais anteriormente dominantes, inclusive aquelas de interesse forrageiro. Em estágios mais avançados, a própria presença de plantas invasoras pode diminuir, refletindo a perda generalizada da cobertura vegetal e o comprometimento das condições de estabilidade do solo (Silva et al. 2024b).

A idade das pastagens é um aspecto que merece atenção, não necessariamente por representar,

de forma isolada, um indicativo de degradação, mas por frequentemente estar associada à permanência de áreas implantadas com materiais genéticos mais antigos e, muitas vezes, menos adaptados às condições atuais de uso e manejo. Segundo levantamento do MapBiomas (2024), cerca de 50% das pastagens brasileiras possuem mais de 30 anos, o que pode refletir na manutenção de forrageiras, estabelecidas em contextos de menor assistência técnica e com tecnologias hoje defasadas. Nessas condições, a ausência de atualização genética e de práticas adequadas de manejo podem favorecer o esgotamento do sistema e comprometer a capacidade de recuperação da pastagem.

Portanto, a degradação das pastagens é resultado de uma combinação de fatores negligenciados que envolvem a baixa fertilidade, a compactação do solo, o manejo inadequado, mudanças climáticas e o envelhecimento natural das pastagens. Esses elementos interagem entre si, produzindo trajetórias de declínio que só podem ser revertidas por meio de diagnósticos precisos e estratégias de recuperação, tecnicamente fundamentadas (Oliveira et al., 2021).

Verifica-se na Figura 2 que áreas com produtividade muito alta, apresentam maior densidade de forragem, melhor cobertura do solo e maior uniformidade do dossel, sendo características associadas a sistemas mais tecnificados e bem manejados.

Figura 2. Classes de produtividade de pastagens em função do nível de intensificação e degradação do sistema.



Fonte: Adaptado de Andrade e Valentim (2019).

À medida que a produtividade diminui para as classes média, baixa, leve, moderada e avançada, tornam-se mais visíveis os sinais de perda de vigor, redução da população de plantas forrageiras, menor cobertura do solo e maior comprometimento da capacidade de suporte da pastagem. Dessa forma, a figura ilustra que a produtividade da pastagem pode ser compreendida como um reflexo do histórico de manejo adotado, constituindo um importante indicativo para o diagnóstico do nível de degradação e para a definição de estratégias de recuperação ou intensificação do sistema produtivo.

3 DIAGNÓSTICO E MONITORAMENTO DO ESTADO DAS PASTAGENS

Compreender os aspectos inerentes à dinâmica da degradação são fundamentais para desenvolver um diagnóstico assertivo e então, constituir um plano de recuperação. Andrade et al. (2023) salientam que a condição da pastagem deve ser criteriosamente avaliada no sentido de sua capacidade produtiva e a sustentação ao longo do tempo, não sintetizando apenas questões visuais no momento da observação.

A condição deve considerar a produção da forragem propriamente dita como um dos pilares qualitativos e quantitativos, pois expressa a capacidade do sistema em sustentar uma determinada lotação de animais. Pastagens degradadas caracterizam-se pela redução progressiva da produção de biomassa através do esgotamento natural do solo, no tocante da sua fertilidade, com reflexos diretos sobre o desempenho animal. Contudo, esse aspecto não deve ser considerado de forma isolada, uma vez que a degradação também envolve alterações estruturais e funcionais do sistema solo-planta, que influenciam a produtividade e a persistência da pastagem (Arantes et al., 2018).

A força ou vigor da planta também exerce papel fundamental para o monitoramento, uma vez que, a capacidade de rebrota após o pastoreio dos animais, denota a saúde do sistema radicular e o estado geral da forrageira. A redução do vigor vem acompanhada da queda de produtividade, da menor lotação e consequentemente, de um menor retorno financeiro (Andrade et al., 2023).

A partir do momento em que a forrageira apresenta sinais de degradação, representado pela baixa produtividade e vigor, ocorre naturalmente uma maior exposição do solo, decorrente da baixa cobertura vegetal. Esse efeito intensifica os processos subsequentes e a deterioração que passam a integrar fatores como a compactação, os processos erosivos e a alteração da composição botânica, pela substituição da planta forrageira de interesse para as plantas invasoras, indicando assim, um desequilíbrio ecológico instalado (Minighin et al., 2017).

Para o diagnóstico da degradação de pastagens, Andrade et al. (2023) utilizaram um método adaptado da proposta clássica de Nascimento Júnior (1994), que preconiza a avaliação de uma série de indicadores relacionados à condição da pastagem. Entre os fatores analisados, destacam-se a altura das plantas, o arranjo e a distribuição da vegetação, o perfilhamento, a densidade de plantas, a relação folha-colmo, os sinais de perda de vigor e a capacidade de recuperação natural da pastagem. Além desses aspectos, também são considerados a estimativa de solo exposto e a avaliação de atributos físicos do solo, como a granulometria e a resistência à penetração. Nesse sentido, o Quadro 1 reúne os principais aspectos a serem observados para a obtenção do diagnóstico da condição da pastagem.

Quadro 1. Indicadores visuais e produtivos utilizados na avaliação do nível de degradação de pastagens em campo.

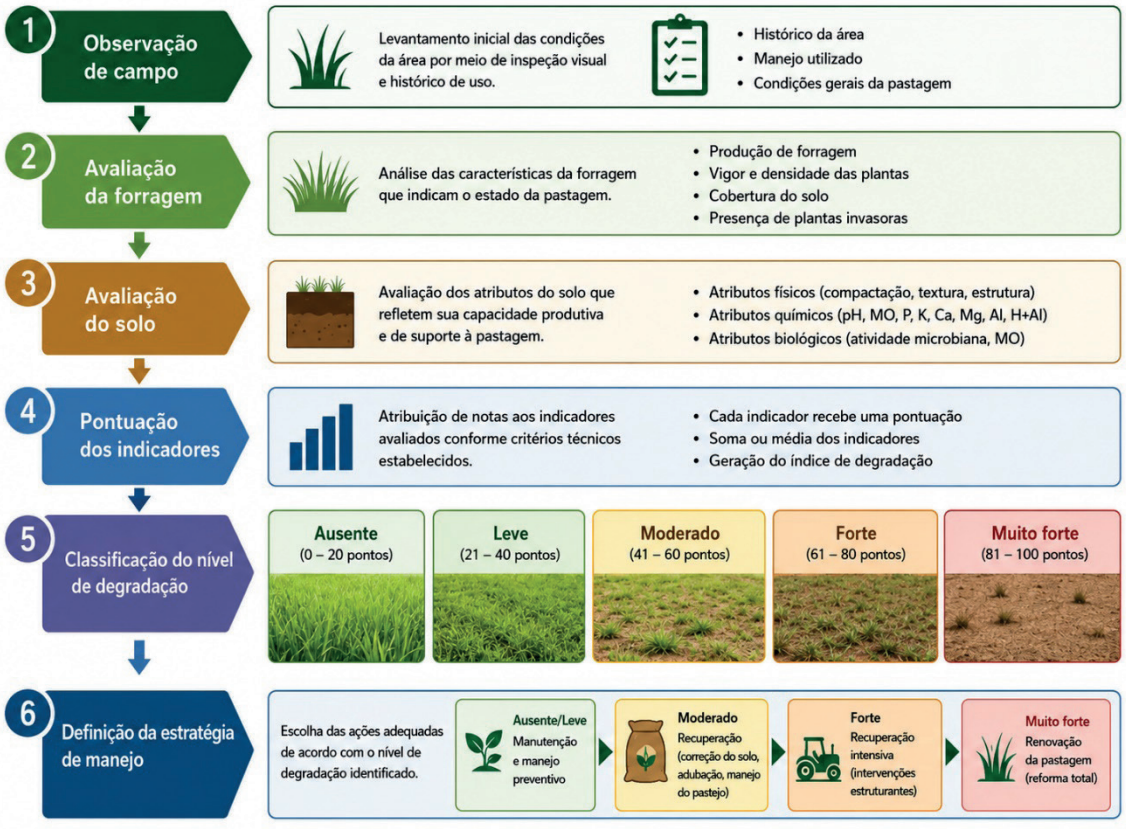
Critério de avaliação	Descrição	Como avaliar em campo	Indicadores de degradação
Produção de forragem	Quantidade de biomassa disponível para pastejo ou corte	Medir ou estimar a massa de forragem verde em período de crescimento	Produção alta, bom; produção muito baixa, degradação acentuada
Vigor das plantas	Capacidade de rebrote após pastejo ou vedação	Observar velocidade e intensidade de rebrota	Vigor alto, saudável. Vigor pobre, sistema radicular fraco

Critério de avaliação	Descrição	Como avaliar em campo	Indicadores de degradação
Cobertura vegetal	Percentual de solo coberto por plantas forrageiras desejáveis	Estimar visualmente ou com método de quadrados/corda	Alta cobertura, proteção do solo. Solo exposto, degradação
Composição botânica	Proporção de espécies desejáveis e invasoras	Fazer levantamento florístico simples	Domínio de invasoras, degradação ecológica
Incidência de plantas invasoras	Presença de espécies de baixo valor forrageiro	Contagem percentual ou qualitativa	Maior número de invasoras, desbalanceamento do pasto
Sinais físicos no solo	Compactação, erosão, crostas	Observar resistência à penetração, sulcos de erosão	Erosão evidente e solo compactado, degradação severa

Fonte: Elaboração própria.

A sequência de etapas envolvidas no diagnóstico do estado da pastagem, desde a observação de campo até a definição do nível de degradação e da estratégia de manejo, pode ser visualizada na Figura 3.

Figura 3. Fluxo lógico para diagnóstico do estado de degradação de pastagens.



Fonte: Elaboração própria, com base em Nascimento Júnior, Queiroz e Santos (1994), Minighin et al. (2017), Teixeira e Gomes (2022), Andrade et al. (2023) e Cordeiro et al. (2022).

Os parâmetros apresentados no Quadro 1, contribuem para o diagnóstico, entretanto, vale ressaltar o método clássico descrito por Nascimento Júnior; Queiroz; Santos, (1994), que pontua as classes de condição, variando assim, de excelente para pobre. Essa maneira permite quantificar o impacto da degradação sobre a produtividade, bem como facilitar a tomada de decisão.

De acordo com Minighin et al. (2017), essa metodologia por meio de sistemas de pontuação, nos quais critérios como produção de forragem, cobertura vegetal, vigor das plantas, presença de invasoras e condições físicas do solo recebem notas específicas, é mais eficaz. A soma dessas pontuações permite classificar a pastagem em níveis de degradação que variam de ausente a muito forte, tornando o diagnóstico mais padronizado e reprodutível como apresentado no Quadro 2 e Tabela 1.

Na avaliação da degradação das pastagens (Quadro 2), são considerados os parâmetros vigor e qualidade da forrageira, incidência de plantas daninhas, população de plantas, cobertura do solo e nível de erosão. Cada critério recebe pontuação de 1 a 4, em que 1 representa condição satisfatória e 4 indica situação muito comprometida. A soma das notas permite, com base na Tabela 1, classificar o nível de degradação da área avaliada.

Quadro 2. Parâmetros utilizados para avaliação do grau de degradação de pastagens.

Parâmetro avaliado	1 (Bom)	2 (Regular)	3 (Ruim)	4 (Muito ruim)
Vigor e qualidade da pastagem	Plantas vigorosas, boa rebrota	Leve redução no vigor	Baixo vigor e rebrota lenta	Plantas enfraquecidas ou em desaparecimento
Incidência de plantas daninhas	Ausente ou muito baixa	Presença moderada	Alta infestação	Predomínio de invasoras
População de plantas forrageiras	Alta densidade	Pequenas falhas	Falhas frequentes	Grandes áreas sem forrageiras
Cobertura do solo pela pastagem	Solo bem coberto	Pequenas áreas expostas	Solo parcialmente exposto	Solo amplamente descoberto
Nível de erosão	Ausente	Sinais iniciais	Erosão moderada	Erosão severa

Fonte: Adaptado de Nascimento Júnior, Queiroz e Santos (1994).

Após a somatória das notas, o resultado é submetido à Tabela 1 que por sua vez, denota o nível de degradação. Caso a pontuação seja locada entre 5 e 8, entende-se como uma degradação ausente, sem a necessidade de uma intervenção. Em outro panorama, se a nota ultrapassar 17 pontos, denota-se uma degradação em estado avançado, sendo necessário aplicar medidas corretivas para implementar a recuperação da área observada em questão.

Tabela 1. Classificação do nível de degradação com base no somatório das notas.

Somatório das notas	Nível de degradação da pastagem
≥ 5 e < 8	Grau 0 – Ausente
≥ 8 e < 11	Grau 1 – Leve
≥ 11 e < 14	Grau 2 – Moderado
≥ 14 e < 17	Grau 3 – Forte
≥ 17 e < 20	Grau 4 – Muito forte

Fonte: Adaptado de Nascimento Júnior, Queiroz e Santos (1994).

Além da avaliação da vegetação no diagnóstico do estado das pastagens, a análise dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo é fundamental, uma vez que a degradação das pastagens está fortemente associada ao esgotamento da fertilidade natural, à compactação provocada pelo pisoteio animal e à redução do teor de matéria orgânica. Do ponto de vista químico, solos sob pastagens degradadas apresentam, em geral, baixos teores de fósforo, cálcio, magnésio e potássio, além de

elevada acidez e presença de alumínio trocável. A ausência de adubação de manutenção, ao longo dos anos, intensifica esse processo, reduzindo a persistência das forrageiras e acelerando a degradação (Cordeiro et al., 2022).

Para obter o resultado da avaliação desses atributos, é imprescindível realizar amostragem de solo. Recomenda-se dividir previamente a área em glebas homogêneas, considerando diferenças de relevo e demais características que possam influenciar a representatividade. Em cada unidade, devem ser coletadas de 10 a 20 subamostras em percurso em zigue-zague, na profundidade aproximada de 20 cm, evitando-se pontos atípicos, como áreas sombreadas, margens de estradas e locais com interferências. Antes da coleta, deve-se retirar a camada superficial do solo para não comprometer os resultados da análise (Filizola; Gomes; Souza, 2006).

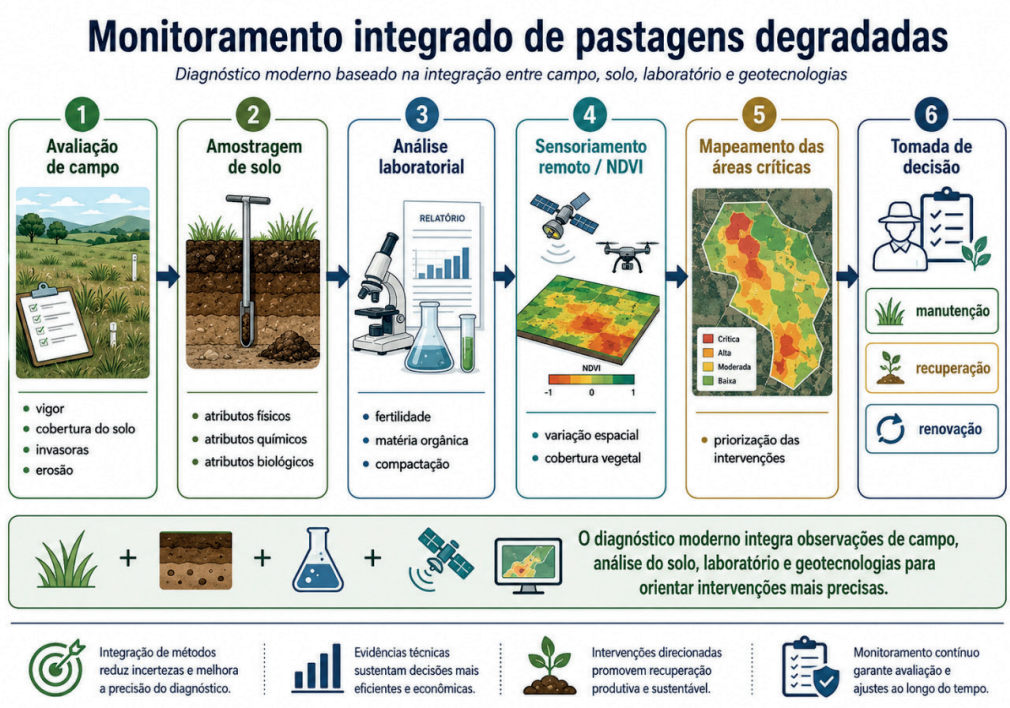
A interpretação dos atributos físicos e químicos do solo é essencial para o diagnóstico e a recuperação de pastagens degradadas, pois permite identificar limitações nutricionais e químicas que restringem o crescimento das forrageiras e a produtividade do sistema. Com base nesses resultados, podem-se definir práticas de correção e adubação mais adequadas, aumentando a eficiência do manejo e favorecendo a reestruturação da pastagem (Andrade; Valentim, 2019).

Os atributos biológicos do solo, embora menos frequentemente, avaliados em diagnósticos de rotina, também desempenham papel central no funcionamento das pastagens. A redução da matéria orgânica e da atividade microbiana compromete os processos de ciclagem de nutrientes, afetando a sustentabilidade do sistema produtivo. Sistemas de manejo que promovem maior aporte de resíduos vegetais e diversidade de espécies tendem a apresentar maior resiliência à degradação (Minighin et al., 2017).

A integração entre as avaliações de campo e os dados de geoprocessamento/sensoriamento remoto tornam-se uma abordagem complementar, enquanto as observações in loco permitem validar as condições reais da pastagem, os indicadores de cobertura vegetal e a produtividade, estimados remotamente, ampliando a escala do monitoramento e auxiliando na identificação e priorização de áreas que demandam intervenção (Reinermann et al., 2020).

A combinação entre avaliação visual, análise de solo e ferramentas de geoprocessamento permite ampliar a precisão do diagnóstico e priorizar áreas com maior risco de degradação, conforme sintetizado na Figura 4.

Figura 4. Monitoramento integrado de pastagens degradadas por meio de avaliação de campo, análise de solo e sensoriamento remoto.



Fonte: Elaboração própria, com base em Filizola, Gomes e Souza (2006), Andrade e Valentim (2019), Reinermann et al. (2020), Peixoto et al. (2022) e Teixeira e Gomes (2022).

De acordo com Peixoto et al. (2022), o uso dessas tecnologias integradas permite uma caracterização espacial das áreas agropecuárias, possibilitando identificar variações de uso do solo, classes de solo e declividade do terreno, fatores diretamente relacionados à suscetibilidade da degradação. A partir dessas informações, torna-se possível delimitar regiões com maior risco de erosão, menor cobertura vegetal e maior concentração de escoamento superficial, direcionando de forma mais precisa as intervenções de conservação e recuperação das áreas de pastagem.

O diagnóstico assertivo favorece escolher a estratégia adequada para beneficiar positivamente a recuperação e a renovação das pastagens, efetivando todas as práticas aplicadas em campo da melhor forma possível, otimizando recursos e contribuindo para uma maior longevidade e consequentemente, uma produção sustentável do sistema pecuário brasileiro (Reinermann et al., 2020).

4 ESTRATÉGIAS PARA RECUPERAÇÃO E RENOVAÇÃO DAS PASTAGENS

A recuperação e a renovação das pastagens são estratégias para restabelecer a capacidade produtiva do sistema, recomendada para áreas que apresentem algum tipo de degeneração, por isso o diagnóstico assertivo é fundamental para o sucesso da prática. A adoção de medidas corretivas tem o objetivo de restabelecer a funcionalidade do sistema da maneira mais eficiente possível (Teixeira; Gomes, 2022).

A recuperação é indicada para áreas que apresentem degradação leve a moderada, de forma que ainda seja possível observar a população relevante da forrageira desejável. Esse método se concentra na correção de fatores limitantes do sistema que dificultam e comprometem o pleno desenvolvimento da forrageira, como a correção da acidez do solo, a reposição de nutrientes, o manejo.

As ações favorecem a retomada do vigor sem que seja necessário a completa reforma da pastagem (Cordeiro et al., 2022).

A escolha entre manutenção, recuperação ou renovação deve ser definida a partir do grau de degradação da área e da capacidade de resposta da pastagem às práticas corretivas, como indicado na Figura 5.

Figura 5. Fluxograma de decisão para recuperação ou renovação de pastagens degradadas.



Fonte: Elaboração própria, com base em Minighin et al. (2017), Arantes et al. (2018), Teixeira e Gomes (2022), Cordeiro et al. (2022) e Reis et al. (2024).

A correção da fertilidade do solo constitui um dos métodos que podem ser empregados, pois a degradação está fortemente associada ao esgotamento de nutrientes e à acidificação do solo. A aplicação de calcário e fertilizantes fosfatados, potássicos e nitrogenados, com base em análise química do solo e a exigência da planta, promove o aumento da produção de biomassa, melhora o perfilhamento das gramíneas e eleva a capacidade de suporte da pastagem (Minighin et al., 2017).

O controle de plantas daninhas é parte fundamental na manutenção da pastagem, recomendado quando a infestação compromete o desempenho da forrageira cultivada pela competição entre as plantas. Esse controle pode ser realizado por métodos mecânicos, químicos ou integrados, sendo fundamental que esteja associado à melhoria da fertilidade do solo e ao manejo adequado do pastejo. Pastagens bem nutridas e corretamente manejadas tendem a apresentar maior capacidade competitiva, reduzindo naturalmente a reincidência de espécies indesejáveis (Teixeira; Gomes, 2022).

De acordo com Lima et al. (2014) Forrageiras bem estabelecidas exercem papel importante na supressão de plantas daninhas, principalmente pela competição por luz, água e nutrientes, além da formação de cobertura vegetal que dificulta a emergência de espécies indesejáveis. Em seu estudo, a

braquiária ruziziensis demonstrou maior produção de biomassa e rápida ocupação do solo, reduzindo a densidade e o desenvolvimento de plantas infestantes.

O manejo adequado do pastejo é outro componente essencial para o sucesso da recuperação, devendo-se ajustar a taxa de lotação à capacidade de suporte do pasto e respeitar alturas mínimas de entrada e saída dos animais. Sistemas de pastejo rotacionado, quando bem dimensionados, favorecem a persistência da forrageira, reduzem a compactação do solo e contribuem para a manutenção da cobertura vegetal, minimizando processos erosivos, sem que haja a necessidade de reimplantação completa da pastagem, processo que remete à altos custos e impactos diretos no solo (Arantes et al., 2018).

Em áreas com degradação mais avançada, caracterizadas por baixa cobertura do solo, elevada infestação de plantas daninhas e redução expressiva da população de plantas forrageiras, a renovação de pastagens torna-se a alternativa mais indicada. Esse processo consiste na reimplantação completa da área, envolvendo todas as práticas necessárias para o estabelecimento da nova pastagem, como preparo do solo, controle químico ou mecânico da vegetação indesejável e a semeadura da forrageira (Minighin et al., 2017).

De acordo com Reis et al. (2024), os custos para recuperação e renovação de pastagens variam significativamente conforme o nível de degradação e a intensidade das práticas adotadas, incluindo a correção da fertilidade, o preparo do solo e a implantação de novas forrageiras. Em seu estudo, realizado no Triângulo Mineiro, os investimentos oscilaram entre R$ 245,68 e R$ 5.348,94 por hectare, sendo os menores valores associados a intervenções pontuais e os maiores valores, vinculados a sistemas mais intensivos como os integrados.

Diversas variáveis refletem nos custos e no êxito da revitalização das pastagens, entretanto, vale ressaltar que a escolha correta da espécie ou cultivar forrageira é decisiva para o sucesso da renovação, devendo considerar fatores como fertilidade do solo, regime hídrico, sistema de produção e finalidade da exploração pecuária. Forrageiras melhor adaptadas apresentam maior eficiência no uso de nutrientes, maior resistência a estresses e maior longevidade produtiva, reduzindo o risco de nova degradação (Cordeiro et al., 2022).

A integração de sistemas produtivos, como a integração lavoura-pecuária (ILP), também pode auxiliar como estratégia eficiente para renovação de pastagens. Esses sistemas promovem melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, aumentam o aporte de matéria orgânica e favorecem a ciclagem de nutrientes, além de diversificar a renda do produtor rural e reduzir os riscos econômicos (Reis et al., 2024).

Segundo Vilela e Marchão (2021) pastagens renovadas em consórcio com culturas anuais apresentaram ganhos de peso entre 19,8 e 22,3 arrobas por hectare, enquanto áreas em degradação produziram apenas 3,4 arrobas por hectare, evidenciando aumento expressivo da produtividade, após a adoção do sistema integrado. Além disso, o consórcio com forrageiras anuais reduziu o período para início do pastejo de 90 a 180 dias para cerca de 30 a 40 dias, demonstrando maior rapidez na recuperação da capacidade produtiva das áreas.

O auxílio de profissionais capacitados, que acompanhe na tomada de decisão com base na realidade, nível tecnológico e em outras variáveis é recomendado, pois influencia diretamente na escolha e métodos que serão implementados. A tabela 4 apresenta algumas dessas alternativas de acordo com os fatores observados (Minighin et al., 2017).

Quadro 3. Medidas de recuperação de acordo com fatores observados.

Medida de recuperação	Quando é recomendada	Como implementar	Resultados esperados
Correção da acidez do solo com calagem	Pastagens com pH baixo, presença de Al^{3+} e baixo vigor da forrageira	Aplicação de calcário com base em análise de solo, preferencialmente a lanço	Melhoria do crescimento radicular, maior absorção de nutrientes e aumento da produtividade
Adubação fosfatada e potássica	Áreas com esgotamento nutricional e queda progressiva da produção	Aplicação conforme recomendação técnica baseada em análise de solo	Aumento do perfilhamento, persistência da pastagem e recuperação da capacidade de suporte
Adubação nitrogenada	Pastagens com baixa taxa de crescimento e coloração amarelada	Aplicação parcelada, associada a manejo adequado do pastejo	Estímulo ao crescimento vegetativo e rápida recomposição do dossel
Ajuste da taxa de lotação	Áreas com sinais de superpastejo	Redução temporária da carga animal ou adequação à capacidade de suporte	Recuperação do vigor das plantas e maior longevidade da pastagem
Pastejo rotacionado	Pastagens em processo de recuperação	Divisão da área em piquetes, respeitando períodos de descanso	Melhor rebrota, maior cobertura do solo e redução da degradação
Controle de plantas daninhas	Áreas com alta infestação de espécies indesejáveis	Métodos mecânicos, químicos ou manejo integrado do pastejo	Redução da competição e favorecimento da forrageira cultivada
Redução da compactação do solo	Pastagens com restrição ao crescimento radicular	Ajuste do manejo do pastejo ou intervenção mecânica pontual	Melhoria da infiltração de água e do desenvolvimento radicular
Monitoramento contínuo	Todas as áreas em recuperação	Avaliação periódica visual, pontuação e uso de NDVI	Prevenção da reincidência da degradação e ajuste do manejo

Fonte: Elaboração própria.

Para a manutenção e longevidade das pastagens são recomendados o monitoramento contínuo e a adoção de práticas preventivas que mitigam a degradação como análise periódica dos atributos físicos e químicos do solo e reposição dos nutrientes, quando necessário. O uso de tecnologias de monitoramento também pode auxiliar no acompanhamento (Teixeira; Gomes, 2022).

Com manejo adequado da lotação, da fertilidade do solo e do uso da pastagem, muitas vezes é possível evitar a necessidade de reformas e seus custos subsequentes.

Contudo, a recuperação e a renovação de pastagens devem ser compreendidas como processos contínuos, integrados ao planejamento do sistema produtivo. A adoção isolada de práticas corretivas, sem mudanças estruturais no manejo, tende a resultar em degradação recorrente. Nesse sentido, é possível afirmar que, com manejo adequado do pastejo, reposição equilibrada de nutrientes e monitoramento sistemático da área, muitas situações de degradação poderiam ser evitadas, reduzindo ou até eliminando a necessidade de intervenções de recuperação e renovação. Todavia, quando tais técnicas se tornam inevitáveis, sua aplicação deve ser criteriosamente planejada e executada de forma correta, de modo a restabelecer a capacidade produtiva das pastagens com eficiência e a minimizar os custos de intervenção para o produtor. Assim, estratégias bemsucedidas exigem abordagem sistêmica, capacitação técnica e acompanhamento permanente das áreas manejadas (Cordeiro et al., 2022)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A degradação de pastagens no Brasil não pode ser idealizada apenas como um fenômeno pontual ou exclusivamente agronômico, mas também como um processo sistêmico que compromete simultaneamente a produtividade, a rentabilidade e a conservação dos recursos naturais. A evidência de áreas com baixa lotação, envelhecimento dos pastos e perda gradual de fertilidade demonstra que o modelo extensivo, baseado no modelo extrativista do solo e na ausência de planejamento forrageiro, atingiu o seu limite técnico e ambiental.

Os elementos discutidos ao longo deste capítulo mostram que a degradação resulta da interação entre um manejo inadequado do pastejo, a exaustão química do solo, a compactação, a redução da matéria orgânica e a perda da capacidade regenerativa vegetal. Romper esse ciclo exige, antes de qualquer intervenção corretiva, um diagnóstico criterioso da condição da pastagem, que considere não apenas aspectos visuais, mas parâmetros quantitativos da vegetação e atributos físicos, químicos e biológicos do solo.

No campo das intervenções, a distinção clara entre a recuperação e a renovação é essencial para o uso racional de recursos. Áreas que estejam no modo de degradação leve a moderada, podem ser reconduzidas aos níveis satisfatórios de produtividade, principalmente por meio da correção da acidez, adubação de manutenção, ajuste da taxa de lotação, manejo criterioso do pastejo e o controle integrado de plantas daninhas. Em outras situações como os níveis de degradação avançada, em que a população de forrageiras desejáveis é reduzida e o solo se encontra exposto e suscetível à erosão, a renovação completa da pastagem torna-se inevitável, implementando uma escolha criteriosa de espécies e preparo adequado do solo.

Mais do que efetuar a recuperação de áreas degradadas, é preciso construir sistemas forrageiros resilientes, possuindo uma maior eficiência no uso de insumos e consequentemente, uma menor vulnerabilidade às oscilações climáticas. Ao integrar um diagnóstico robusto, manejo adequado, tecnologias de recuperação/renovação e uma perspectiva aplicada de longo prazo, a pecuária brasileira tem condições de aumentar sua produtividade, reduzir a pressão sobre novos focos de desmatamentos e consolidar-se como uma atividade verdadeiramente sustentável em termos econômicos, sociais e ambientais.

DECLARAÇÃO DE USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Os autores declaram que utilizaram a ferramenta ChatGPT, da OpenAI, modelo GPT-5.5 Thinking, como apoio na elaboração deste capítulo, especialmente na organização textual, revisão da redação acadêmica e elaboração de figuras, esquemas e elementos visuais.

Todo o conteúdo textual e visual produzido com apoio da IA foi revisado, ajustado e validado pelos autores, que assumem integral responsabilidade pelo capítulo. A Inteligência Artificial não foi considerada autora ou coautora.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, C. M. S.; VALENTIM, J. F. Manejo da fertilidade do solo na reforma e recuperação de pastagens na Amazônia. Rio Branco: **Embrapa Acre**, 2019. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1110894. Acesso em: 21 mar. 2026.

ANDRADE, R. G.; HOTT, M. C.; MOTTA, M. B.; MAGALHÃES JÚNIOR, W. C. P.; GALDINO, S.; RODRIGUES, C. A. G.; RONQUIM, C. C.; SILVEIRA, H. L. F.; D'OLIVEIRA, P. S. Monitoramento e avaliação qualitativa de pastagens a partir de dados NDVI/MODIS. **Revista Contemporânea**, v. 3, n. 11, p. 23441-23460, 24 nov. 2023. DOI: https://doi.org/10.56083/RCV3N11-169. Disponível em: https://ojs.revistacontemporanea.com/ojs/index.php/home/article/view/2350. Acesso em: 22 jan. 2026.

ARANTES, A. E.; COUTO, V. R. de M.; SANO, E. E.; FERREIRA, L. G. Livestock intensification potential in Brazil based on agricultural census and satellite data analysis. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 9, p. 1053-1060, 2018. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-204X2018000900009. Disponível em: https://www.scielo.br/j/pab/a/r3TRrxY4txZzT9nMRtBj5tF/?format=html&lang=en. Acesso em: 10 jan. 2026.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL (CNA). **Os ganhos para a pecuária brasileira com os avanços em rastreabilidade individual.** Brasília, DF: CNA, 2024. Disponível em: https://www.cnabrasil.org.br/publicacoes/assunto-os-ganhos-para-a-pecuaria-brasileira-com-os-avancos-em-rastreabilidade-individual. Acesso em: 20 mar. 2026.

CORDEIRO, L. A. M.; VILELA, L.; MACEDO, M. C. M.; ZIMMER, A. H.; RAMOS, A. K. B.; BRAGA, G. J.; MACIEL, G. A.; MARCHÃO, R. L.; ALMEIDA, R. G.; KICHEL, A. N. Estratégias para recuperação e renovação de pastagens degradadas no Cerrado. Brasília, DF: **Embrapa**, 2022. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1152245/1/Doc-397-web.pdf. Acesso em: 17 jan. 2026.

FILIZOLA, H. F.; GOMES, M. A. F.; SOUZA, M. D. de. **Manual de procedimentos de coleta de amostras em áreas agrícolas para análise da qualidade ambiental:** solo, água e sedimentos. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/15292/1/2006OL008.pdf. Acesso em: 27 fev. 2026.

LIMA, S. F.; TIMOSSI, P. C.; ALMEIDA, D. P.; SILVA, U. R. Fitossociologia de plantas daninhas em convivência com plantas de cobertura. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 27, n. 2, p. 37-47, 2014. Disponível em: https://periodicos.ufersa.edu.br/caatinga/article/view/3353. Acesso em: 21 mar. 2026.

MAPBIOMAS. Destaques do mapeamento anual de cobertura e uso da terra. **Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil**, 2024. Disponível em: https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2025/08/Fact_Colecao10_22.08.2025_v9.pdf. Acesso em: 11 jan. 2026.

MINIGHIN, D.; GONÇALVES, L. C.; VILLANOVA, D. F. Q.; MAURÍCIO, R. M.; PEREIRA, R. V. G.; CARVALHO, W. T. V. Pastagens degradadas e técnicas de recuperação: revisão. **Pubvet**, v. 11, n. 10, p. 1036-1045, 2017. DOI: https://doi.org/10.22256/PUBVET.V11N10.1036-1045. Disponível em: https://ojs.pubvet.com.br/index.php/revista/article/view/1256. Acesso em: 17 jan. 2026.

NASCIMENTO JÚNIOR, D. do; QUEIROZ, D. S.; SANTOS, M. V. F. dos. **Degradação de pastagens, critérios para avaliação**. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 11., 1994, Piracicaba. Anais [...]. Piracicaba: FEALQ, 1994. p. 107-151.

OLIVEIRA, T. S.; CARVALHO, C. C. N.; CORREIA, C. C.; FONSECA, E. C. N. F.; NUNES, F. C. Avaliação da degradação de pasto nativo embasada em parâmetros de solo. **Diversitas Journal**, v. 6, n. 2, p. 1871-1885, 2021. DOI: https://doi.org/10.17648/diversitas-journal-v6i2-1424. Disponível em: https://diversitasjournal.com.br/diversitas_journal/article/view/1424. Acesso em: 21 jan. 2026.

PEIXOTO, M. R.; GIONGO, P. R.; BACKES, C.; SILVA, P. C. Técnicas conservacionistas de solo e água na agropecuária: Caracterização da área decontribuição de barraginhas. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 8, e15411526694, 2022. DOI: http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i8.26694.

REINERMANN, S.; ASAM, S.; KUENZER, C. Remote sensing of grassland production and management: a review. **Remote Sensing**, v. 12, n. 12, art. 1949, 2020.

REIS, J. C. dos; ARAÚJO, J. B. C. N.; BRAGA, G. J.; FERREIRA, M. R.; MACIEL, G. A.; SILVA, T. R.; CORDEIRO, L. A. M.; RIBEIRO, J. F.; MARCHÃO, R. L. Custos de intervenção para recuperação e renovação de pastagens degradadas em propriedades rurais no Triângulo Mineiro. Planaltina, DF: **Embrapa Cerrados**, 2024. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 419). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1172478. Acesso em: 21 mar. 2026.

SILVA, C. O. F.; RODRIGUES, C. A. G.; GREGO, C. R.; QUARTAROLI, C. F. Influência de atributos físicos, químicos e hídricos de solos e área foliar nos níveis de degradação de pastagens cultivadas. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 20, n. 2, 2024a. DOI: https://doi.org/10.17271/1980082720220244108. Disponível em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/forum_ambiental/es/article/view/4108. Acesso em: 11 jan. 2026.

SILVA, F. P.; CASTRO, F. C.; CRUZ JUNIOR, A. G. Processo de desertificação e perda de diversidade biológica no Semiárido brasileiro. **Revista Ouricuri**, v. 14, ed. esp., p. 3-11, 2024b. Disponível em: https://www.revistas.uneb.br/ouricuri/article/view/22528. Acesso em: 21 mar. 2026.

SISTE, D. A. B.; BIGARDI, L. R.; MATRANGOLO, W. J. R.; CARDOSO, I. M.; RAMIREZ, M. A.; LANA, A. M. Q. Sistematização do redesenho das pastagens em áreas montanhosas nas unidades familiares em transição agroecológica. **Delos: Desarrollo Local Sostenible**, v. 16, n. 46, p. 2106-2126, 2023. DOI: https://doi.org/10.55905/rdelosv16.n46-010. Disponível em: https://ojs.revistadelos.com/ojs/index.php/delos/article/view/886/871. Acesso em: 10 jan. 2026.

TEIXEIRA, T. A.; GOMES, R. S. Diagnóstico do nível de degradação de pastagens em propriedades do Distrito Federal. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 8, n. 3, p. 688-700, 2022. DOI: https://doi.org/10.51891/rease.v8i3.4627. Disponível em: https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/4627/1737. Acesso em: 10 jan. 2026.

VIANA, Y. L. M.; AZEREDO, D. R. P. Qualidade da carne bovina brasileira exportada: análise de dados recentes e desafios regulatórios. **Research, Society and Development**, v. 15, n. 1, 2025. Disponível em: https://rsdjournal.org/rsd/article/view/50525. Acesso em: 21 mar. 2026.

VILELA, L.; MARCHÃO, R. L. O papel da integração lavoura-pecuária na recuperação de pastagens degradadas. Planaltina, DF: **Embrapa Cerrados**, 2021. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/68235241/artigo---o-papel-da-integracao-lavoura-pecuaria-na-recuperacao-de-pastagens-degradadas. Acesso em: 31 mar. 2026.

IMPLEMENTAÇÃO E MANEJO DE FORRAGENS COMO BASE DA PRODUÇÃO ANIMAL SUSTENTÁVEL

10.56238/livrosindi2026111-003

Carlos Eduardo Pereira da Conceição
Pedro Luiz R de Vasconcelos
Diogo Alves da Costa Ferro
Klayto José Gonçalves dos Santos
Arthur Gabriel Teodoro

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de produção de ruminantes em regiões tropicais e subtropicais da América Latina, com destaque para o Brasil, fundamentam-se predominantemente na utilização de pastagens como base alimentar. Nesse cenário, as áreas de pastagens constituem a principal plataforma produtiva do setor pecuário, sustentando economias regionais e contribuindo para o abastecimento de proteína animal em diferentes escalas (Carvalho et al., 2018).

Apesar da elevada aptidão climática das regiões tropicais para produção de biomassa, a expressão do potencial produtivo das pastagens depende, em grande medida, de decisões técnicas associadas ao estabelecimento e ao manejo. Quando essas decisões são inadequadas ou insuficientes, observa-se aumento do risco de degradação, com perda de vigor das plantas forrageiras, redução da capacidade de suporte e maior presença de plantas indesejáveis, repercutindo diretamente na eficiência do sistema produtivo (Dias-Filho, 2014).

A superação desses entraves requer uma abordagem integrada que considere, de forma articulada, os componentes solo, planta forrageira e animal, reconhecendo as interações dinâmicas que caracterizam os ecossistemas pastoris. Nesse sentido, a correção da acidez do solo, o manejo da fertilidade por adubações corretivas e de manutenção e a gestão da matéria orgânica constituem bases técnicas para o estabelecimento e a longevidade de pastagens produtivas (Pereira et al., 2018).

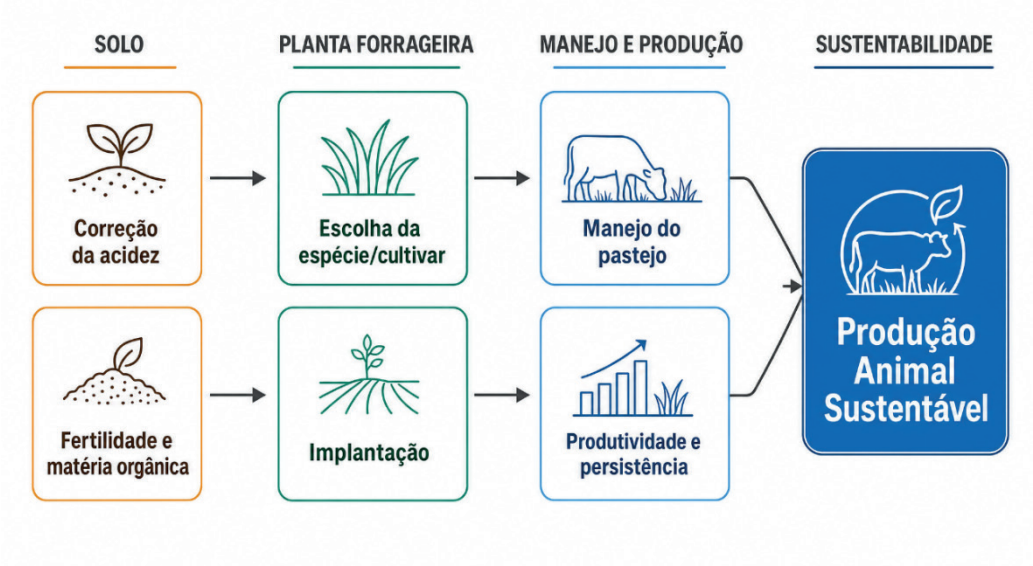
Paralelamente, a escolha criteriosa de espécies e cultivares adaptadas às condições edafoclimáticas locais, bem como a definição de métodos de implantação tecnicamente embasados — por sementes (semeadura direta ou convencional) ou por mudas — determinam o sucesso do estabelecimento inicial e a uniformidade do estande. Essas decisões iniciais condicionam o desempenho do sistema e aumentam a previsibilidade das respostas ao manejo nos ciclos subsequentes (Malagutti, 2024).

O manejo de pastagens, entendido como o conjunto de decisões que regula intensidade, frequência e duração do pastejo, exerce influência direta sobre a produtividade animal e a persistência das forrageiras. Assim, sistemas de pastejo contínuo e rotacionado exigem metas consistentes para ajuste de taxa de lotação e altura de manejo, de modo a compatibilizar colheita eficiente da forragem, manutenção da estrutura do dossel e estabilidade do sistema ao longo do tempo (Pedreira et al., 2024).

Este capítulo apresenta, de forma sistemática e didática, os princípios técnico-científicos e as práticas recomendadas para a implementação e o manejo de diferentes tipos de forragens em sistemas de produção de ruminantes. Inicialmente, discute preparo e conservação do solo, correção da acidez, manejo da fertilidade e da matéria orgânica, bem como métodos de implantação; na sequência, aprofunda fundamentos e estratégias de manejo do pastejo e diretrizes de manutenção, oferecendo base para decisões tecnicamente fundamentadas em diferentes contextos produtivos (De Mori et al., 2024).

A implementação e o manejo de forragens devem ser compreendidos de forma integrada, considerando a interação entre solo, planta e animal como base da sustentabilidade produtiva, conforme sintetizado na Figura 1.

Figura 1. Integração entre solo, planta forrageira e animal como base da produção animal sustentável.



Fonte: Elaboração própria, com base em Carvalho et al. (2018), Dias-Filho (2014), Pereira et al. (2018), Malagutti (2024), Pedreira et al. (2024) e De Mori et al. (2024).

2 ESTABELECIMENTO DE PASTAGENS

Compreendidos os fundamentos ecológicos e produtivos das forragens tropicais, torna-se necessário transformar esse conhecimento em procedimentos agronômicos capazes de sustentar um estabelecimento consistente de pastagens no Cerrado brasileiro e em regiões tropicais e subtropicais da América Latina. A implantação bem-sucedida não depende de um único fator, mas do encadeamento lógico de decisões que começam no diagnóstico pré-operacional e seguem pela correção e preparo do solo, pela escolha do método de implantação e, por fim, pelo manejo inicial pós-emergência.

Por se tratar de um processo sequencial, limitações não tratadas em qualquer etapa tendem a reaparecer como estande irregular, baixa cobertura do solo, dominância de plantas invasoras, mortalidade de plântulas, fechamento lento do dossel e retorno acelerado da degradação. Nessa perspectiva, a implantação deve ser conduzida como um projeto agronômico com metas mensuráveis, critérios de decisão explícitos e monitoramento desde o pré-operacional, sobretudo em ambientes marcados por elevada variabilidade climática e por restrições químicas e físicas típicas dos solos do Cerrado (Arruda, 2018; Crusciol et al., 2019; Valani et al., 2021).

O estabelecimento de pastagens deve ser conduzido como uma sequência de decisões técnicas interdependentes, desde o diagnóstico inicial até o manejo pós-implantação, como apresentado na Figura 2.

Figura 2. Sequência técnica para o estabelecimento de pastagens em sistemas tropicais.



Fonte: Elaboração própria, com base em Arruda (2018), Crusciol et al. (2019), Valani et al. (2021) e Malagutti (2024).

2.1 PLANEJAMENTO E DIAGNÓSTICO PRÉ-IMPLANTAÇÃO

O planejamento do estabelecimento de pastagens no Cerrado exige, simultaneamente, a definição de objetivos produtivos e de conservação, a avaliação de viabilidade econômica e o alinhamento do calendário operacional à sazonalidade climática regional. Em termos técnicos, o diagnóstico pré-implantação deve integrar análise de solo, avaliação do nível de degradação, caracterização das condições edafoclimáticas e levantamento da infraestrutura disponível, de modo a orientar metas verificáveis de correção do solo, de velocidade de fechamento do dossel e de resiliência do sistema ao longo do primeiro ciclo chuvoso e da transição para a estação seca (Valani et al., 2021).

Do ponto de vista econômico, o planejamento precisa incorporar custos e restrições de execução; corretivos, sementes, fertilizantes, maquinário e infraestrutura de manejo, porque a viabilidade e o retorno dependem diretamente do grau de intensificação, do horizonte de investimento e da capacidade de sustentar as operações de implantação e de manejo subsequente (Oliveira; Couto, 2018).

Antes de qualquer operação, a definição de objetivos técnicos mensuráveis torna a implantação mais previsível, reduz decisões baseadas em impressão visual e estabelece referências para o monitoramento e os ajustes ao longo do processo. Do ponto de vista operacional, metas como cobertura contínua do solo, composição botânica favorável e baixa pressão de invasoras ao final do primeiro ciclo chuvoso ajudam a caracterizar uma implantação bem-sucedida com critérios verificáveis no campo. Em sistemas integrados, a literatura reforça que objetivos bem formulados devem contemplar, além da produção animal, indicadores de qualidade do solo e de estabilidade do sistema, incluindo atributos químicos, físicos e biológicos, o que reforça a necessidade de metas que transcendam o desempenho imediato e sustentem a intensificação com resiliência (Valani et al., 2021).

Em paralelo, avaliações econômicas no Cerrado mostram que indicadores como valor presente líquido e taxa interna de retorno, são úteis para integrar custos de capital e insumos desde a fase de planejamento, comparando cenários com diferentes níveis de intensificação e estruturas de investimento (Oliveira; Couto, 2018). Quando o projeto inclui leguminosas, elas podem ser incorporadas como objetivo estratégico para reduzir dependência de nitrogênio mineral e melhorar a sustentabilidade do sistema, já que revisões indicam o potencial da fixação biológica de N para substituir, em termos de desempenho produtivo, faixas de adubação nitrogenada empregadas em monoculturas fertilizadas, com implicações relevantes de custo e emissões associadas ao uso de fertilizantes (Boddey et al., 2020).

Após a definição desses objetivos, o diagnóstico precisa responder, com base em evidências, qual é o grau de degradação, quais são as restrições químicas e físicas do solo e quais causas dominantes sustentam a perda de vigor do pasto. A degradação é multifatorial e pode ocorrer mesmo sem erosão visível quando compactação, baixa infiltração e declínio da fertilidade reduzem a competitividade da forrageira e criam oportunidade ecológica para invasoras. Assim, a abordagem mais robusta combina indicadores de campo (cobertura do solo, falhas no estande, vigor, presença de invasoras e sinais de erosão) com análise de solo, pois a interpretação conjunta melhora a decisão entre recuperar por correções e ajuste de manejo ou renovar por reimplantação. Trabalhos aplicados no Cerrado destacam a utilidade de critérios objetivos de cobertura e condição do estande para qualificar o estado da pastagem e orientar a intervenção com menor subjetividade (Arruda, 2018).

Além disso, o entendimento das limitações edáficas é decisivo porque solos do Cerrado podem apresentar acidez elevada, baixa disponibilidade de bases e, em áreas arenosas, menor retenção de água e maior suscetibilidade à compactação e à erosão, o que eleva o risco de falhas de estabelecimento quando a correção e a conservação não são planejadas de forma compatível com essas restrições (Dos Santos et al., 2018).

Com base nessas informações, para reduzir custos e aumentar a frequência de avaliação, o monitoramento pode integrar observações de campo por transectos e inspeções sistemáticas com ferramentas de sensoriamento remoto baseadas em índices de vegetação. Em áreas extensas, essa combinação permite identificar manchas de baixo vigor e falhas de estabelecimento antes que a heterogeneidade se consolide, viabilizando intervenções localizadas com melhor relação custo-benefício. Nessa lógica, o monitoramento deixa de ser apenas uma verificação tardia do que deu errado e passa a funcionar como mecanismo de gestão do processo, guiando correções oportunas. A regra prática derivada do diagnóstico e do acompanhamento é que áreas com degradação leve a moderada tendem a responder melhor a correções e ajustes de manejo, enquanto degradação severa com falhas extensas e restrições químico-físicas marcantes frequentemente exige renovação e intervenção mais intensiva, sob pena de perpetuar baixa cobertura e reinfestação recorrente (Arruda, 2018; Valani et al., 2021).

O planejamento da implantação deve integrar metas produtivas, diagnóstico do solo, avaliação do grau de degradação e viabilidade operacional, permitindo a definição mais segura da estratégia de intervenção, como ilustrado na Figura 3.

Figura 3. Componentes do planejamento e do diagnóstico pré-implantação de pastagens.



Fonte: Elaboração própria, com base em Valani et al. (2021), Oliveira e Couto (2018), Boddey et al. (2020), Arruda (2018) e Dos Santos et al. (2018).

2.2 PREPARO E CONSERVAÇÃO DO SOLO

O preparo do solo para implantação de pastagens no Cerrado deve maximizar o estabelecimento sem ampliar perdas por erosão nem comprometer a estrutura, especialmente quando a implantação coincide com o início das chuvas. Em pastagens degradadas, é comum encontrar compactação, menor infiltração, crostas superficiais e piora do ambiente radicular, o que reduz emergência e pegamento mesmo quando sementes e operação parecem adequadas. Por isso, a intensidade do preparo deve ser consequência do diagnóstico físico, do risco de erosão e da capacidade de recompor cobertura rapidamente. Evidências de longo prazo em sistemas integrados indicam que rotações com *Urochloa* e manutenção de resíduos aumentam frações de matéria orgânica e melhoram a agregação, reforçando a preferência por estratégias de menor distúrbio quando a limitação física não é extrema e o risco de erosão é elevado (Loss, 2011).

Ensaios em plantio direto no Cerrado mostram que a correção superficial com calcário e gesso pode melhorar condições químicas em profundidade sem revolvimento intensivo, associando-se a ganhos de produtividade de culturas e forragens, o que evidencia que conservação de estrutura e melhoria do ambiente de crescimento não são objetivos conflitantes quando o manejo é bem calibrado (Crusciol et al., 2019). Em ambientes em que a conservação é prioridade, o uso de culturas de cobertura e a manutenção de palhada contribuem para proteger o solo do impacto das chuvas, melhorar o microclima da superfície e favorecer a emergência e o fechamento inicial do dossel, reduzindo o período de vulnerabilidade do sistema (Cordeiro et al., 2022).

2.3 CORREÇÃO DA ACIDEZ E MANEJO DA FERTILIDADE

A correção da acidez é frequentemente o fator habilitador do estabelecimento em solos do Cerrado, uma vez que eleva o pH, reduz o alumínio trocável e melhora a disponibilidade de bases, ampliando o crescimento radicular e a eficiência dos fertilizantes. Em condições de plantio direto no Cerrado, ensaios demonstram que a calagem superficial melhora atributos químicos e que a combinação de calcário com gesso pode produzir respostas superiores à calagem isolada, com ganhos de produtividade forrageira associados à melhoria do ambiente químico e ao fornecimento de cálcio em profundidade (Crusciol et al., 2019).

Em estudo aplicado ao estabelecimento de *Urochloa brizantha* cv. Marandu, a combinação de calcário e gesso foi associada ao aumento de matéria seca e à melhora de macronutrientes em avaliação inicial pós-plantio, reforçando o uso do gesso quando o objetivo inclui reduzir limitações químicas em camadas mais profundas e favorecer exploração radicular (Castro; Rezende, 2021).

Para transformar diagnóstico em dose e procedimento, recomenda-se orientar a calagem, a gessagem e a adubação por análise de solo e por publicações técnicas regionalizadas de recomendação para pastagens tropicais, evitando prescrição genérica desconectada das restrições edáficas, do método de implantação e das metas do projeto (Pereira et al., 2018).

2.4 MANEJO DA MATÉRIA ORGÂNICA E CONDIÇÃO FÍSICA DO SOLO

A matéria orgânica do solo e a condição física controlam a dinâmica hídrica, a atividade biológica, a agregação, a infiltração e o ambiente radicular, influenciando diretamente o desempenho do estabelecimento e a persistência da pastagem. Em sistemas de integração Lavoura-Pecuária (ILP), estudos apontam aumentos em frações de carbono orgânico e melhoria de agregação quando o *Urochloa* integra rotações, reforçando a importância de práticas que elevem cobertura, aportem resíduos e promovam a construção de estrutura ao longo do tempo, especialmente em ambientes onde compactação e baixa infiltração limitam o crescimento inicial (Loss, 2011).

Em revisão sistemática sobre sistemas integrados, observa-se tendência geral de efeitos positivos em indicadores de qualidade do solo, sugerindo que integração e manejo conservacionista podem acelerar a restauração funcional de áreas degradadas, ainda que persistam lacunas em séries longas para algumas métricas físicas (Valani et al., 2021).

Quando a estratégia inclui leguminosas, revisões indicam que o aporte de N via fixação biológica pode reduzir dependência de nitrogênio mineral e contribuir para produtividade e sustentabilidade, mas o resultado depende de compatibilização do consórcio com as condições do local e, sobretudo, de manejo de pastejo adequado para garantir persistência das leguminosas no sistema (Boddey et al., 2020).

2.5 MÉTODOS DE IMPLANTAÇÃO DE FORRAGENS

A escolha do método de implantação determina a velocidade de estabelecimento, a produtividade inicial, os custos operacionais e o risco de insucesso. Em termos gerais, a semeadura convencional tende a acelerar a formação do estande e favorecer uma emergência mais uniforme, porém pode ampliar risco de erosão e depende de regulagem cuidadosa, especialmente na profundidade de semeadura e no contato semente-solo. Ensaios com *Urochloa ruziziensis* indicam que a faixa de 1 a

3 cm favorece emergência e crescimento inicial, enquanto profundidades maiores reduzem desempenho, o que torna a profundidade um ponto crítico de controle em campo (Arruda et al., 2023).

Estudos comparativos de métodos de estabelecimento e sistemas de preparo indicam que o desempenho inicial das forrageiras pode variar conforme espécie, material propagativo, preparo do solo e integração com culturas agrícolas, evidenciando o trade-off entre produção rápida e conservação do solo (Malagutti, 2024).

Em gramíneas do gênero *Cynodon,* resultados também indicam variações de velocidade de estabelecimento e produtividade inicial entre métodos e sistemas de preparo, reforçando que a escolha deve ser calibrada aos objetivos do sistema e às condições ambientais e operacionais (Malagutti, 2024).

A semeadura convencional, baseada no preparo mecânico do solo e na deposição de sementes em leito preparado, permanece como referência quando a prioridade é obter fechamento rápido do dossel e alta produção inicial, desde que o risco de erosão seja controlado e a janela hídrica seja escolhida com precisão. O desempenho é particularmente sensível à sincronização entre preparo, semeadura e início de chuvas regulares, pois períodos secos logo após a semeadura reduzem a emergência e aumentam a probabilidade de falhas no estande. Além disso, a profundidade de semeadura deve ser ajustada ao tamanho da semente, e evidências para *Urochloa* ruziziensis reforçam que enterrio além da faixa ótima reduz significativamente a emergência, o que torna indispensáveis a regulagem e a verificação em campo durante a operação (Arruda et al., 2023).

Como regra de decisão, quando o objetivo principal é biomassa rápida no primeiro ano e há capacidade operacional para preparo e medidas de conservação, a semeadura convencional tende a ser favorecida, embora exija atenção adicional em solos arenosos e em áreas com declividade, onde o risco de perdas por erosão cresce em leitos expostos (Dos Santos et al., 2018).

Por sua vez, a semeadura direta, ou plantio direto, é indicada quando conservação do solo, manutenção de palhada e compatibilização com sistemas integrados são prioridades. Em restauração por semeadura direta no Cerrado, há evidência de viabilidade de estabelecimento em ampla gama de espécies, ainda que com forte variabilidade entre espécies e locais, o que sugere potencial elevado desde que haja planejamento fino e manejo adaptativo (Pellizzaro et al., 2017).

Em pastagens estabelecidas, comparações mostram que o plantio direto pode apresentar estabelecimento mais lento e menor acúmulo de matéria seca no primeiro ano em alguns contextos, reforçando o trade-off clássico entre conservação e velocidade de produção inicial (Malagutti, 2024).

Em situações de competição e sobressemeadura, fatores como tratamento de sementes e momento de semeadura podem alterar substancialmente o sucesso, evidenciando que, nesse método, o contato semente-solo sob palhada e o manejo de competição precisam ser tratados como pontos críticos do protocolo (Volf et al., 2021; Santos et al., 2026). Em áreas suscetíveis à erosão, o plantio direto é frequentemente estratégico por manter cobertura e reduzir perdas de solo, desde que o controle de invasoras e o timing de semeadura sejam rigorosos (Cordeiro et al., 2022).

Já a implantação vegetativa é recomendada quando há escassez de sementes, germinação incerta, necessidade de cobertura rápida ou quando se busca maior uniformidade inicial do estande. Em estudo de caso com *Cratylia argentea*, o transplante de mudas apresentou maior sobrevivência do que a semeadura direta, mas aumentou custos e demanda de mão de obra, o que limita sua adoção em grandes áreas e exige análise econômica cuidadosa (Aquino et al., 2020).

Os *Cynodons* spp. em específico se diferenciam em velocidade de estabelecimento e produção no primeiro ano, sugerindo que o método pode ser vantajoso quando a urgência de cobertura e produtividade inicial justifica o investimento adicional e a logística envolvida (Malagutti, 2024). Para gramíneas nativas, a produção de mudas constitui alternativa relevante quando há limitações de sementes e de informações de germinação, embora o desempenho dependa de procedimentos de viveiro e da etapa de transferência ao campo (Oliveira et al., 2020).

Em síntese, a seleção do método deve ser guiada por critérios mensuráveis do local, do sistema e da capacidade operacional, considerando urgência de cobertura e produção, risco de erosão, disponibilidade de equipamentos, pressão de invasoras, janela hídrica e confiabilidade do material propagativo. A literatura converge para um trade-off central entre velocidade e biomassa inicial versus conservação do solo: preparo convencional e métodos vegetativos tendem a acelerar cobertura e produção, mas aumentam perturbação e exigem maior controle de erosão; plantio direto preserva cobertura e estrutura, mas pode atrasar o estabelecimento e reduzir a produção no primeiro ano em determinados contextos (Malagutti, 2024).

Além disso, a biologia da semente define profundidade e técnica de deposição, e evidências para Urochloa ruziziensis reforçam a necessidade de controle estrito de profundidade como variável determinante de emergência (Arruda et al., 2023). Em restauração e em áreas sob risco elevado de reinvasão, o método deve ser integrado a um plano explícito de controle de invasoras, pois a reinfestação por gramíneas exóticas invasoras é apontada como ameaça crítica ao sucesso do estabelecimento e à persistência do sistema, elevando o custo e reduzindo a estabilidade quando não é enfrentada desde o início (Wiederhecker et al., 2024).

2.6 MANEJO INICIAL PÓS-IMPLANTAÇÃO ATÉ O PRIMEIRO PASTEJO

O manejo inicial deve proteger o capital de estabelecimento e consolidar o banco de perfilhos, o fechamento do dossel e a redução de falhas, pois é nesse período que se define a trajetória de persistência do sistema. A condução adequada demanda monitoramento do estande, correções localizadas, controle precoce de invasoras e ajuste de lotação em função do estágio de consolidação da pastagem.

Sistemas submetidos a pastejo precoce ou intensidade excessiva tendem a sofrer desfolha prematura, com redução do recrutamento de perfilhos, aumento de falhas e abertura de espaço para invasoras, comprometendo o desempenho no curto prazo e a estabilidade no médio prazo. Por isso, a literatura reforça que o regime de pastejo e a compatibilização com consórcios são determinantes para a persistência, especialmente quando leguminosas compõem o sistema e demandam manejo cuidadoso para se manterem competitivas (Boddey et al., 2020; Valani et al., 2021).

Em ambientes vulneráveis à reinvasão, a pressão de propágulos e o estabelecimento de gramíneas invasoras podem comprometer a implantação, exigindo controle planejado e acompanhamento mais intensivo nos primeiros meses, quando o sistema ainda não fechou o dossel e permanece mais suscetível a mudanças na composição botânica (Wiederhecker et al., 2024).

Quanto ao critério operacional para liberar o primeiro pastejo, os estudos citados não oferecem limiares numéricos universais, replicáveis entre espécies e regiões, mas convergem para indicadores funcionais de robustez do estande.

Assim, a entrada deve ocorrer apenas quando houver cobertura suficientemente contínua, plantas com boa ancoragem e perfilhamento ativo, além de baixa vulnerabilidade ao arrancamento e à desfolha severa. Atingidas essas condições, recomenda-se uma entrada conservadora, com remoção moderada, residual generoso e recuperação adequada, de modo a evitar que o pastejo inicial interrompa a consolidação do estande e reinicie o ciclo de falhas e reinfestação.

Essa orientação é coerente com a ênfase de que o manejo inicial define a trajetória de persistência e competitividade do sistema ao longo do tempo, principalmente em paisagens sob risco de reinvasão e em sistemas que buscam intensificação com estabilidade (Valani et al., 2021; Wiederhecker et al., 2024; Boddey et al., 2020).

3 MANEJO DE PASTAGEM

3.1 TIPOS DE PASTEJO

O manejo do pastejo refere-se ao conjunto de estratégias utilizadas para regular a colheita das forrageiras pelos animais, estando diretamente relacionado à forma de alocação dos rebanhos nas áreas de pastagem. Esse manejo influencia a dinâmica de crescimento das plantas, a persistência do pasto e o desempenho animal. Entre os sistemas mais amplamente adotados destacam-se a lotação contínua, na qual os animais permanecem por períodos prolongados em uma mesma área, e o pastejo rotacionado, caracterizada pela alternância entre períodos de ocupação e descanso das parcelas (Lima et al., 2021).

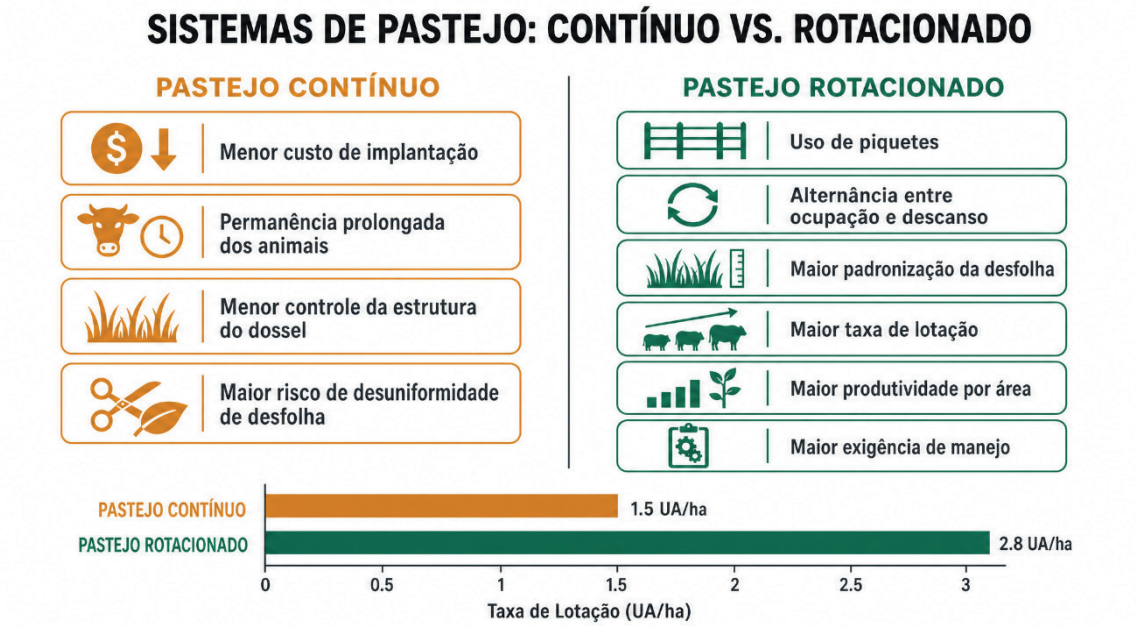
A lotação contínua consiste na permanência dos animais na mesma área de pastagem por períodos prolongados, sem subdivisões, ao longo de todo o ciclo de pastejo. Esse sistema apresenta baixo custo de implantação e manejo, porém pode resultar em desuniformidade na desfolha das plantas forrageiras e dificultar o controle da oferta de forragem e da estrutura do dossel. A taxa de lotação pode ser ajustada de forma fixa ou variável, sendo esta última modulada conforme a disponibilidade de forragem, geralmente mais elevada no período chuvoso em relação ao período seco. Quando adotada a carga animal fixa, torna-se necessário trabalhar com taxas mais conservadoras, definidas com base na capacidade de suporte da pastagem nos períodos de menor produção, uma vez que os processos de crescimento e consumo da forragem ocorrem simultaneamente em uma única unidade de pastejo, limitando a precisão das estimativas de produção e ingestão pelos animais (Costa, 2007; Braga et al., 2020).

A lotação rotativa, ou pastejo rotacionado, consiste em um sistema de manejo no qual a pastagem é organizada em unidades menores, permitindo a movimentação controlada dos animais entre os piquetes, com alternância entre períodos de utilização e repouso das plantas forrageiras. Esse modelo de manejo favorece a padronização da desfolha, otimiza o uso da forragem disponível e estimula a rebrotação vegetal, refletindo em maior eficiência produtiva da pastagem. Além disso, a adoção desse sistema possibilita incrementos na taxa de lotação e na produção animal por área, ao mesmo tempo em que contribui para a manutenção da estrutura do solo, a redução da pressão parasitária e a estabilidade da composição botânica, fatores que impactam positivamente a persistência e a sustentabilidade do sistema de produção. No sistema de pastejo rotacionado, é comum a adoção de níveis mais elevados de corretivos e fertilizantes, especialmente fontes nitrogenadas, com o objetivo de intensificar

o crescimento das plantas forrageiras e aumentar a produção de biomassa disponível para o pastejo (Andrade, 2008; Lima et al., 2021).

As principais diferenças estruturais e funcionais entre os sistemas de lotação contínua e rotacionada podem ser visualizadas na Figura 4, que sintetiza os efeitos de cada estratégia sobre o uso da forragem e o desempenho do sistema.

Figura 4. Características comparativas dos sistemas de pastejo contínuo e rotacionado.



Fonte: Elaboração própria, com base em Costa (2007), Andrade (2008), Braga et al. (2020), Lima et al. (2021) e Cintra et al. (2018).

Cintra et al. (2018) analisaram o desempenho produtivo de sistemas de pastejo utilizados na fase de recria de bovinos de corte e constataram maior eficiência do pastejo rotacionado quando comparado ao pastejo contínuo. De acordo com os resultados, o sistema rotacionado apresentou maior taxa de lotação, maior produção de arrobas por hectare e maior ganho médio diário, com valores de 8,43 UA ha^{-1}, 50,10 @ ha^{-1} e 0,665 kg $animal^{-1}$ dia^{-1}, respectivamente. Em contraste, no sistema de pastejo contínuo foram registrados 2,28 UA ha^{-1}, 6,88 @ ha^{-1} e 0,325 kg $animal^{-1}$ dia^{-1}, evidenciando a superioridade produtiva do manejo rotacionado.

3.2 MANEJO DA ALTURA DE DOSSEL

O manejo eficiente das pastagens pressupõe o equilíbrio entre a oferta de forragem destinada ao consumo animal e a manutenção da capacidade produtiva das plantas forrageiras. Esse equilíbrio é fundamental para atender às exigências nutricionais dos animais, promover adequado desempenho produtivo e, simultaneamente, assegurar a persistência do pasto por meio de rebrotação eficiente após o pastejo.

Nesse contexto, a mensuração da altura do dossel forrageiro destaca-se como uma ferramenta prática e amplamente utilizada no manejo das pastagens, uma vez que apresenta relação direta com a massa de forragem disponível. Esse indicador possibilita estimativas indiretas da oferta alimentar e facilita o monitoramento das condições do pasto em campo, devido à sua simplicidade operacional e fácil visualização (Genro et al., 2018).

Além disso, a estrutura do dossel forrageiro exerce influência significativa sobre o comportamento ingestivo dos bovinos. Trindade et al. (2012) demonstraram que atributos estruturais do pasto, como altura e massa de forragem, afetam diretamente o tempo de pastejo e a eficiência de busca por alimento, sendo, em determinados contextos, mais determinantes do que a própria oferta diária de forragem.

Resultados observados por Martins et al. (2015) evidenciam que o ganho médio diário dos bovinos está diretamente relacionado à altura de manejo da pastagem. Animais mantidos em pastos conduzidos a 10 cm apresentaram os menores ganhos de peso, enquanto o aumento da altura do dossel proporcionou melhor desempenho individual, com valores variando de aproximadamente 0,813 a 1,103 kg animal^{-1} dia^{-1} nas alturas de 20, 30 e 40 cm. Apesar do acréscimo na massa de forragem em pastagens mais altas, os ganhos de peso foram semelhantes entre essas alturas, indicando que, a partir de determinado patamar estrutural, a ingestão de nutrientes tende a se estabilizar. Desta forma a manutenção de faixas adequadas de altura e massa de forragem reduz o esforço de pastejo dos animais e contribui para maior eficiência produtiva.

As alturas de pré-pastejo e pós-pastejos varia entre as pastagens (Quadro 1) em função das particularidades morfofisiológicas de cada espécie forrageira, uma vez que diferenças no hábito de crescimento, na velocidade de rebrotação resultam em respostas distintas ao pastejo. Essas características determinam faixas específicas de altura mais adequadas para a utilização de cada forrageira, nas quais se maximiza a colheita de lâminas foliares e se preserva a persistência da pastagem.

A altura do dossel exerce efeito direto sobre a disponibilidade de forragem, o comportamento ingestivo e o desempenho animal, constituindo um dos principais indicadores práticos de manejo das pastagens, como sintetizado na Figura 5.

Figura 5. Relação entre altura do dossel forrageiro, consumo e desempenho animal.



Figura 1. Relações funcionais entre a estrutura do pasto, comportamento ingestivo e desempenho animal sob pastejo.

Fonte: Elaboração própria, com base em Genro et al. (2018), Trindade et al. (2012), Martins et al. (2015) e Costa e Queiroz (2017).

Quadro 1. Altura do dossel de espécies forrageiras para manejo de pastejo rotacionado e contínuo.

Espécie forrageira (nome científico)	Sistema de manejo	Altura de entrada (cm)	Altura de saída (cm)	Altura média de pastejo (cm)
Urochloa brizantha cv. Xaraés	Pastejo contínuo	—	—	30
Urochloa brizantha cv. Piatã	Pastejo contínuo	—	—	30
Urochloa brizantha cv. Marandu	Pastejo contínuo	—	—	27,5
Urochloa brizantha cv. Paiaguás	Pastejo contínuo	—	—	27,5
Urochloa brizantha cv. Ipyporã	Pastejo contínuo	—	—	27,5
Urochloa decumbens	Pastejo contínuo	—	—	22,5
Urochloa humidicola cv. Tupi	Pastejo contínuo	—	—	15
Megathyrsus maximus cv. Mombaça	Pastejo rotacionado	85	45	—
Megathyrsus maximus cv. Zuri	Pastejo rotacionado	80	40	—
Megathyrsus maximus cv. Tanzânia	Pastejo rotacionado	70	35	—
Megathyrsus maximus cv. Quênia	Pastejo rotacionado	65	35	—
Megathyrsus maximus cv. Massai	Pastejo rotacionado	55	30	—
Megathyrsus maximus cv. Tamani	Pastejo rotacionado	50	25	—

Fonte: Adaptado de Costa e Queiroz (2017).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise integrada entre estabelecimento e manejo revela que a sustentabilidade da produção de ruminantes em regiões tropicais depende da sinergia entre o sistema solo-planta-animal. O diagnóstico preliminar, a correção da acidez e o aporte de nutrientes, somados à escolha criteriosa da forrageira, são pilares para a formação de pastagens resilientes. A execução sequencial dessas etapas minimiza riscos de falhas no estande e a pressão de plantas espontâneas, o que mitiga a degradação precoce e viabiliza a intensificação produtiva com menor pegada ambiental.

Complementarmente, o manejo do pastejo, pautado no controle da taxa de lotação e na estrutura do dossel, constitui o mecanismo central para equilibrar o desempenho animal e a conservação do ecossistema. Estratégias de pastejo rotacionado, desde que ajustadas com precisão, potencializam a eficiência de colheita e a produtividade por área quando comparadas ao pastejo contínuo. Assim, o uso de indicadores estruturais e metas mensuráveis consolida as pastagens bem manejadas como o eixo estratégico para a viabilidade técnica e econômica da pecuária tropical.

DECLARAÇÃO DE USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Os autores declaram que utilizaram a ferramenta ChatGPT, da OpenAI, modelo GPT-5.5 Thinking, como apoio na elaboração deste capítulo, especialmente na organização textual, revisão da redação acadêmica e elaboração de figuras, esquemas e elementos visuais.

Todo o conteúdo textual e visual produzido com apoio da IA foi revisado, ajustado e validado pelos autores, que assumem integral responsabilidade pelo capítulo. A Inteligência Artificial não foi considerada autora ou coautora.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, C. M. S. de. **Pastejo rotacionado: tecnologias para aumentar a produtividade de leite e a longevidade das pastagens.** Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2008. 2 p.

AQUINO, A. M. de S.; MATTAR, E. P. L.; FARINATTI, L. H. E.; CRUZ, L. R. da; COSTA, A. P. de O.; FRADE JUNIOR, E. F.; ARAÚJO, E. A. de; MATRANGOLO, W. J. R. Establishing Cratylia argentea in an Ultisol in the West of Acre, Southwestern Amazon, Brazil. **Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales**, v. 8, n. 3, p. 289-294, 2020. DOI: https://doi.org/10.17138/tgft(8)289-294.

ARRUDA, D. M. **Diagnóstico e propostas de recuperação de pastagens degradadas na região do Cerrado.** 2018. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2018.

ARRUDA, E. M.; OLIVEIRA JUNIOR, M. F. de; RIVA NETO, D. C. O.; SOUZA, J. A. L. de; BRITO, S. G. de. Emergência e crescimento de Brachiaria ruziziensis em função da profundidade de semeadura em solos arenosos. **Scientific Electronic Archives**, v. 16, n. 7, 2023. DOI: https://doi.org/10.36560/16720231750.

BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; JANK, L.; MACHADO, A. T.; SANTOS, C. A.; SANTOS, S. C.; BODDEY, R. M. Forage legumes in grass pastures in tropical Brazil and likely impacts on greenhouse gas emissions: a review. **Grass and Forage Science**, Oxford, v. 75, n. 4, p. 357-371, 2020. DOI: https://doi.org/10.1111/gfs.12498.

BRAGA, G. J.; RAMOS, A. K. B.; MACIEL, G. A.; FERNANDES, F. D.; CARVALHO, M. A.; FONSECA, C. E. L. da. **Métodos de pastejo e estimativas para o ajuste do número de bovinos na pastagem**. Circular Técnica, Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, n. 46, 2020. 24 p.

CARVALHO, P. C. F.; NICOLOSO, R. S.; HAGEMANN, M.; CAVALCANTI, F. C.; TIECHER, T.; OLIVEIRA, J. R. de; SOUZA, E. D. N. de; BAYER, C. Animal production and soil characteristics from integrated crop-livestock systems: toward sustainable intensification. **Journal of Animal Science**, Oxford, v. 96, n. 8, p. 3513-3525, 2018. DOI: https://doi.org/10.1093/jas/sky085.

CASTRO, K. N. C.; REZENDE, A. V. Efeito da calagem e gessagem no estabelecimento de Brachiaria brizantha cv. Marandu em solo de Cerrado. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 22, e2122012021, 2021. DOI: https://doi.org/10.1590/S1519-99402122012021.

CINTRA, H. M.; TEIXEIRA, O. S.; COSTA, C. S.; OLIVEIRA, J. T. A. Comparação de produtividade de dois sistemas de pastejo para bovinos de corte. **Revista ESPACIOS**, v. 39, n. 14, p. 16, 2018.

CORDEIRO, C. F. dos S.; RODRIGUES, D. R.; SILVA, G. F. da; ECHER, F. R.; CALONEGO, J. C. Soil organic carbon stock is improved by cover crops in a tropical sandy soil. **Agronomy Journal**, v. 114, n. 2, p. 1546-1556, 2022. DOI: https://doi.org/10.1002/agj2.21019.

COSTA, J. A. A.; QUEIROZ, H. P. **Régua de manejo de pastagens**. Brasília, DF: Embrapa Gado de Corte, 2017. 44 p.

COSTA, N. de L. **Sistemas de pastejo em pastagens tropicais**. Amapá: Embrapa Amapá, 2007. 5 p.

CRUSCIOL, C. A. C.; MARQUES, R. R.; CARMEIS FILHO, A. C. A.; SORATTO, R. P.; COSTA, C. H. M.; FERRARI NETO, J.; CASTILHOS, A. M. Lime and gypsum combination improves crop and forage yields and estimated meat production and revenue in a variable charge tropical soil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 115, n. 3, p. 347-372, 2019.

DIAS-FILHO, M. B. **Diagnóstico das pastagens no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. 36 p. (Documentos, 402).

LIMA, M. A.; NASCIMENTO, H. L. B. do; FONSECA, D. M. da; PACIULLO, D. S. C.; CHIZZOTTI, F. H. M. Formação e manejo de pastagens. In: ARRUDA, V. M. (org.). **Forragicultura: pesquisa e ensino**. Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2021. p. 78-99. DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.9632130117.

LOSS, A. **Dinâmica da matéria orgânica, fertilidade e agregação do solo em áreas sob diferentes sistemas de uso no Cerrado goiano**. 2011. Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2011.

MALAGUTTI, A. M. **Estabelecimento de pastos dos capins "Tifton 85" e Jiggs com dois tipos de mudas e preparos de solo, em monocultivo ou integração lavoura-pecuária.** 2024. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) - ESALQ/USP, Piracicaba, 2024. DOI: https://doi.org/10.11606/d.11.2024.tde-01082024-150919.

MARTINS, A. P.; KUNRATH, T. R.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. de F. (ed.). **Integração soja-bovinos de corte no Sul do Brasil**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2015. 102 p. (GPSPA-UFRGS. Boletim técnico).

MORI, C. de; SANTOS, P. M.; BARRIOS, S. C. L.; ABREU, U. G. P. de; BARIONI JUNIOR, W. **Uso das práticas de manejo de forrageiras e de pastejo na bovinocultura de corte.** São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 2024. 57 p. (Documentos, 146).

OLIVEIRA, A. C. C. de; FORTI, V. A.; LOIOLA, P. de P.; VIANI, R. A. G. Techniques for seedling production of two native grasses: new perspectives for Brazilian Cerrado restoration. **Restoration Ecology**, v. 28, n. 2, p. 297-303, 2020. DOI: https://doi.org/10.1111/rec.13103.

OLIVEIRA, E. R. de; COUTO, V. R. M. Productive and economic viability of raising beef cattle in the savanna of the Brazilian state of Goiás**. Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 56, n. 3, p. 395-410, 2018. DOI: https://doi.org/10.1590/1234-56781806-94790560302.

PEDREIRA, B. C.; GOMES, F. J.; PEREIRA, D. H. Inovações no manejo de pastagens e sustentabilidade da pecuária de corte em Mato Grosso. In: **A pós-graduação em Zootecnia da UFMT: contribuições para produção animal eficiente e sustentável**. [S. l.]: Científica Digital, 2024. p. 104-127. DOI: https://doi.org/10.37885/241218403.

PEREIRA, L. E. T.; NISHIDA, N. T.; CARVALHO, L. R.; HERLING, V. R. **Recomendações para correção e adubação de pastagens tropicais. Pirassununga: Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo**, 2018. 56 p. DOI: https://doi.org/10.11606/9788566404227.

PELLIZZARO, K. F.; CORDEIRO, A. O. O.; ALVES, M.; MOTTA, C. P.; REZENDE, G. M.; SILVA, R. R. P.; RIBEIRO, J. F.; SAMPAIO, A. B.; VIEIRA, D. L. M.; SCHMIDT, I. B. "Cerrado" restoration by direct seeding: field establishment and initial growth of 75 trees, shrubs and grass species. **Brazilian Journal of Botany**, v. 40, n. 3, p. 681-693, 2017. DOI: https://doi.org/10.1007/s40415-017-0371-6.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAÚJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

SANTOS, T. M.; GUIMARÃES, K. C.; PEREIRA, J. L.; JAKELAITIS, A. Urochloa pasture established by overseeding in soybean crop treated with residual herbicides. **Scientia Plena**, v. 22, n. 2, 020204, 2026. DOI: https://doi.org/10.14808/sci.plena.2026.020204.

TRINDADE, J. K.; PINTO, C. E.; NEVES, F. P.; MEZZALIRA, J. C.; BREMM, C.; GENRO, T. C. M.; TISCHLER, M. R.; NABINGER, C.; GONDA, H. L.; CARVALHO, P. C. F. Forage allowance as a target of grazing management: implications on grazing time and forage searching**. Rangeland Ecology & Management**, v. 65, n. 4, p. 382-393, 2012. DOI: https://doi.org/10.2111/REM-D-11-00204.1.

VALANI, G. P.; MARTÍNI, A. F.; SILVA, L. F. S. da; BOVI, R. C.; COOPER, M. Soil quality assessments in integrated crop-livestock-forest systems: a review. **Soil Use and Management**, v. 37, n. 1, p. 22-36, 2021. DOI: https://doi.org/10.1111/sum.12667.

VOLF, M. R.; CRUSCIOL, C. A. C.; CUSTÓDIO, C. C.; BOSSOLANI, J. W.; MACHADO, F. G.; WRUCK, F. J.; COSTA, C. H. M.; RIBEIRO, J. F.; SILVA, L. S. Interseeding of ruzigrass into soybean: strategies to improve forage cultivation in no-till systems. **Annals of Agricultural Sciences**, v. 66, n. 1, p. 16-24, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.aoas.2021.02.003.

AS FORRAGEIRAS COMO COMPONENTE EM DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO PECUÁRIOS

10.56238/livrosindi2026111-004

Luiz Paulo Martins Leonel
Marcos Vinicios Bueno de Oliveira
Diogo Alves da Costa ferro
Rafael Alves da Costa ferro
Clarice Backes

1 INTRODUÇÃO

As pastagens representam a base da alimentação dos rebanhos bovinos no Brasil, consolidando-se como uma das formas mais econômicas de transformar energia solar, água e nutrientes do solo em carne e leite. Nesse contexto, as forrageiras não devem ser compreendidas apenas como cobertura vegetal, mas como culturas agrícolas estratégicas, cuja produção precisa ser planejada, monitorada e colhida de forma eficiente pelos animais (Paulino et al., 2002; Dias-Filho et al., 2016).

A eficiência produtiva de um sistema pecuário depende da relação entre produção de forragem, valor nutritivo, taxa de lotação e desempenho animal. Quando essa relação é bem ajustada, reduz-se a dependência de alimentos concentrados e de insumos externos, melhorando a margem econômica da atividade. Por outro lado, falhas na escolha da espécie, na fertilidade do solo ou no manejo do pastejo comprometem a persistência da pastagem e aceleram processos de degradação (Amorim et al., 2017; Cruz et al., 2022).

Além da função alimentar, as gramíneas e leguminosas forrageiras exercem papel relevante na sustentabilidade dos sistemas de produção. O desenvolvimento radicular, a cobertura permanente do solo e a deposição contínua de resíduos vegetais favorecem a ciclagem de nutrientes, a infiltração de água, a proteção contra erosão e o incremento de matéria orgânica no solo (Taboada et al., 2015).

A intensificação sustentável da pecuária, portanto, exige compreender que não existe uma forrageira ideal para todas as condições. A espécie ou cultivar mais adequada depende do clima, do solo, da categoria animal, do nível de investimento, da disponibilidade de mão de obra, da estratégia de suplementação e do objetivo produtivo da propriedade. Assim, a escolha da forrageira deve estar integrada ao sistema de produção, seja ele extensivo, semi-intensivo, intensivo a pasto, integrado, leiteiro, de corte ou voltado à produção de volumosos conservados (Rao et al., 2015; Euclides et al., 2014).

Diante dessa diversidade de sistemas, a função das forrageiras deve ser compreendida de forma integrada, considerando sua relação com o solo, o manejo, a categoria animal, o nível de intensificação e o objetivo produtivo da propriedade, conforme sintetizado na Figura 1.

Figura 1. Papel estratégico das forrageiras em diferentes sistemas de produção pecuária.



Fonte: Elaboração própria, com base em Paulino et al. (2002), Rao et al. (2015), Euclides et al. (2014) e Dias-Filho et al. (2016).

Dessa forma, este capítulo tem como objetivo discutir o papel das forrageiras em diferentes sistemas de produção pecuária, destacando suas principais aplicações, limitações de manejo, exigências técnicas e contribuições para a produtividade animal e a sustentabilidade dos sistemas.

2 FORRAGEIRAS EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO EXTENSIVOS

O sistema extensivo pode ser definido como aquele em que a produção animal depende predominantemente do pastejo direto, com baixa utilização de insumos externos, menor nível de controle sobre a oferta de alimento e maior dependência das condições naturais de solo e clima. Nesses sistemas, a pastagem é a principal fonte de nutrientes para bovinos, ovinos e caprinos, sendo comum o uso de grandes áreas e menores taxas de lotação em comparação aos modelos mais intensivos (Michalk et al., 2017).

No Brasil, esse tipo de sistema ainda tem grande importância econômica e territorial. Segundo o Censo Agropecuário 2017, as pastagens naturais ocuparam aproximadamente 46,8 milhões de hectares, enquanto as pastagens plantadas representaram cerca de 112,2 milhões de hectares. Esse dado evidencia que, embora as pastagens cultivadas predominem no país, as áreas naturais e naturalizadas ainda exercem papel importante na produção pecuária, especialmente em regiões onde a introdução de espécies cultivadas é limitada por fatores edafoclimáticos ou econômicos (IBGE, 2019).

As espécies utilizadas em sistemas extensivos devem apresentar elevada adaptação ao ambiente, persistência sob pastejo, tolerância a períodos de déficit hídrico e capacidade de produção mesmo em solos de menor fertilidade. Por isso, gramíneas naturalizadas, pastagens nativas e cultivares mais rústicas de *Urochloa* spp. são frequentemente utilizadas, pois permitem manter a cobertura

do solo e sustentar o rebanho com menor dependência de adubação e suplementação (Muhammad et al., 2024; Dias-Filho et al., 2016).

A principal limitação produtiva desses sistemas está relacionada à sazonalidade da produção de forragem. Durante o período seco, ocorre redução na disponibilidade de massa verde, queda no teor de proteína bruta, aumento da fração fibrosa e menor digestibilidade da dieta, o que pode limitar o ganho de peso, a produção de leite e a eficiência reprodutiva dos animais (Villalba et al., 2016).

Outro ponto crítico é a baixa reposição de nutrientes no solo. Em áreas de Cerrado, por exemplo, a fertilidade natural reduzida e o uso limitado de corretivos e fertilizantes restringem a capacidade produtiva das pastagens, impactando diretamente a taxa de lotação e a produtividade por hectare. Quando a lotação animal permanece acima da capacidade de suporte, a degradação tende a avançar, com redução do vigor das plantas, exposição do solo, compactação, erosão e aumento de plantas indesejáveis (Martha Júnior; Vilela, 2002; Cruz et al., 2022).

Assim, o manejo em sistemas extensivos deve priorizar o equilíbrio entre oferta de forragem e número de animais. Estratégias como ajuste da taxa de lotação, diferimento de áreas para uso na seca, divisão de pastagens, controle do sobrepastoreio, recuperação de áreas degradadas e escolha de espécies adaptadas são fundamentais para melhorar a estabilidade produtiva e reduzir perdas ambientais (Taboada et al., 2015; Michalk et al., 2017).

3 FORRAGEIRAS EM SISTEMAS SEMI-INTENSIVOS

Os sistemas semi-intensivos representam um nível intermediário de intensificação, no qual o pasto continua sendo a base da alimentação, mas passa a ser associado a práticas de manejo mais controladas, como divisão de piquetes, ajuste de carga animal, adubação de manutenção, suplementação estratégica e planejamento alimentar para períodos críticos. Dessa forma, busca-se elevar a produtividade sem alcançar o grau de dependência de insumos observado nos sistemas intensivos (Rao et al., 2015; Dubeux Júnior et al., 2024).

A maior capacidade de adaptação desses sistemas às variações climáticas não ocorre pela forrageira isoladamente, mas pela combinação de ferramentas de manejo. A propriedade pode ajustar a lotação conforme a oferta de pasto, utilizar suplementação proteica ou proteico-energética na seca, reservar áreas diferidas, produzir volumoso conservado e utilizar adubação de forma estratégica. Essa flexibilidade reduz o risco de queda acentuada no desempenho animal em períodos de menor crescimento das plantas forrageiras (Reis et al., 2009; Silva et al., 2009a).

Em regiões tropicais, gramíneas do gênero *Urochloa* são amplamente utilizadas em sistemas semi-intensivos por apresentarem boa adaptação, facilidade de manejo e resposta à melhoria da fertilidade do solo. Cultivares de *Megathyrsus maximus* também podem ser utilizadas quando há maior controle do pastejo e melhor disponibilidade de nutrientes, pois apresentam maior potencial produtivo, porém exigem manejo mais criterioso da altura de entrada e saída dos animais (Euclides et al., 2014; Gomide et al., 2016).

A consorciação com leguminosas deve ser entendida como uma possibilidade dentro dos sistemas semi-intensivos, e não como sua base obrigatória. Quando bem estabelecidas, as leguminosas contribuem para elevar o teor de proteína da dieta, melhorar a ciclagem de nutrientes e reduzir parte da dependência de fertilizantes nitrogenados. Entretanto, sua adoção exige escolha adequada da espécie, inoculação eficiente, manejo da competição com a gramínea e controle da persistência no pasto (Lüscher et al., 2014; Rochon et al., 2004).

Resultados de pesquisa reforçam esse potencial. Rezende et al. (2022), avaliando capim-paiaguás em cultivo solteiro e consorciado com feijão-guandu, observaram que, na ausência de adubação nitrogenada em cobertura, a extração de nitrogênio (N) pelo capim passou de 199 kg ha^{-1} no cultivo solteiro para 257 kg ha^{-1} no consórcio, incremento aproximado de 29%. Esse resultado demonstra que o uso de leguminosas pode contribuir para o fornecimento de N ao sistema, especialmente em situações de menor uso de adubação mineral.

O manejo do pastejo nesses sistemas deve buscar maior eficiência de colheita da forragem produzida. O uso de pastejo rotacionado ou alternado, quando bem planejado, permite controlar períodos de ocupação e descanso, favorecendo a rebrota das plantas e a manutenção da estrutura do dossel. Entretanto, a intensificação parcial exige acompanhamento frequente, pois a melhoria da fertilidade e o aumento da produção de massa só resultam em maior produtividade animal quando há ajuste da carga animal e suplementação compatível com a categoria do rebanho (Diehl et al., 2013; Silva et al., 2009b).

Do ponto de vista produtivo e econômico, os ganhos do sistema semi-intensivo dependem da combinação entre forrageira adequada, manejo do pastejo, correção do solo, adubação e suplementação. Portanto, não se trata apenas de substituir uma espécie por outra, mas de organizar o sistema para transformar maior produção de forragem em ganho de peso, produção de leite ou melhoria reprodutiva, sem elevar os custos de forma desproporcional (Dubeux Júnior et al., 2024).

4 FORRAGEIRAS EM SISTEMAS INTENSIVOS A PASTO

Os sistemas intensivos a pasto são caracterizados pela busca de maior produção animal por unidade de área, com uso mais criterioso da fertilidade do solo, adubação, manejo de altura, ajuste de lotação e monitoramento frequente do desempenho animal. Nesse modelo, a pastagem é tratada como uma cultura agrícola de alto rendimento, na qual os nutrientes exportados pela produção de carne ou leite precisam ser repostos para evitar perda de vigor e degradação do sistema (Macedo, 2004; Mendes et al., 2022).

A intensificação exige forrageiras com maior potencial de acúmulo de matéria seca, boa capacidade de rebrota e elevado valor nutritivo. Cultivares de *Megathyrsus maximus*, como Mombaça, Tanzânia e Zuri, destacam-se em sistemas rotacionados por apresentarem alto teto produtivo e resposta expressiva à adubação. Entretanto, por possuírem crescimento cespitoso e colmos mais robustos, exigem controle rigoroso da altura de entrada e saída para evitar acúmulo de material senescente e queda na qualidade da dieta (Gomide et al., 2016; Silva et al., 2009b).

Dados de sistemas intensivos com capim-Mombaça evidenciam esse potencial. Em avaliação de cinco anos sob manejo intensivo, observou-se ganho médio diário de 0,782 kg animal dia, taxa de lotação média de 7,1 UA ha ano e produtividade média de 2.150,4 kg de peso vivo ha ano (Aguiar et al., 2005). Em outro levantamento técnico, pastagens de capim-Mombaça e Tanzânia manejadas sob pastejo rotacionado apresentaram lotação entre 4,5 e 5,5 novilhos ha e ganhos diários variando de 625 a 732 g animal dia, dependendo do nível de adubação utilizado (Gomide et al., 2016).

As gramíneas do gênero *Cynodon*, como Tifton 85 e Jiggs, também são importantes em sistemas intensivos, principalmente na pecuária de leite, na produção de feno e na terminação de categorias mais exigentes. Seu crescimento estolonífero e rizomatoso favorece cobertura densa do solo, resistência ao pisoteio e boa relação folha/colmo, características desejáveis em áreas de uso frequente e maior pressão de pastejo (Silva et al., 2016; Moreira et al., 2015).

As espécies do gênero *Urochloa*, embora geralmente mais rústicas que *Megathyrsus maximus*, também podem compor sistemas intensivos quando associadas à correção do solo, adubação e manejo rotacionado. Cultivares como Marandu, Piatã, Paiaguás e híbridos como Ipyporã podem sustentar bons níveis de desempenho quando a oferta de forragem, a estrutura do dossel e a carga animal são adequadamente ajustadas. Euclides et al. (2018), em pastos de Ipyporã e Marandu sob lotação rotativa, observaram que diferenças na composição morfológica e no valor nutritivo podem alterar o ganho individual e a taxa de lotação, resultando em desempenho por área semelhante entre cultivares.

O manejo da altura do dossel é uma das ferramentas mais práticas para definir o momento de entrada e saída dos animais. Em gramíneas tropicais manejadas sob lotação rotativa, metas baseadas em altura e interceptação luminosa próxima de 95% permitem melhor equilíbrio entre acúmulo de forragem, proporção de folhas, rebrota e eficiência de colheita (Silva et al., 2009b; Barbosa et al., 2011).

A adubação nitrogenada atua como aceleradora do crescimento das pastagens intensivas, estimulando aparecimento de folhas, alongamento foliar e perfilhamento. Entretanto, doses elevadas, como 200 a 400 kg há ano de N, somente apresentam boa resposta técnica e econômica quando existe ajuste dinâmico da lotação para colher a forragem adicional produzida. Caso contrário, pode ocorrer acúmulo excessivo de material, queda na qualidade estrutural do pasto e aumento do custo sem retorno produtivo proporcional (Rodrigues et al., 2019; Moreira et al., 2015).

Além do N, a correção da acidez e a reposição de fósforo (P), potássio (K), enxofre (S) e micronutrientes são essenciais para manter o sistema radicular ativo, favorecer a persistência da pastagem e reduzir riscos de degradação. Assim, sistemas intensivos exigem análise de solo periódica, planejamento de compras de insumos, aplicação em momentos adequados e acompanhamento técnico constante (Macedo, 2004; Santos, 2010).

Nos sistemas intensivos a pasto, a produtividade depende da organização sequencial das práticas de manejo, iniciando pelo diagnóstico da fertilidade do solo e avançando para a correção, adubação, controle da altura do dossel, ajuste da lotação animal e monitoramento do desempenho produtivo. Essa lógica operacional está representada na Figura 2.

Figura 2. Fluxo de manejo de pastagens intensivas com base na altura do dossel e ajuste da lotação animal.



Fonte: Elaboração própria, com base em Macedo (2004), Silva et al. (2009b), Barbosa et al. (2011), Gomide et al. (2016) e Mendes et al. (2022).

A principal limitação desses sistemas é que pequenos erros de manejo podem gerar grandes perdas. Superlotação, atraso na retirada dos animais, adubação mal planejada, compactação do solo e ausência de controle financeiro podem comprometer tanto a produtividade quanto a rentabilidade. Por isso, a intensificação a pasto deve ser acompanhada por indicadores técnicos e econômicos, como taxa de lotação, ganho por área, produção de leite por hectare, custo operacional e margem bruta.

A comparação entre os sistemas extensivo, semi-intensivo e intensivo a pasto permite observar que o aumento da produtividade por área está associado ao maior uso de insumos, ao controle mais rigoroso do pastejo, ao ajuste frequente da lotação e ao monitoramento técnico e econômico do sistema, como apresentado na Figura 3.

Figura 3. Gradiente de intensificação no uso de forrageiras em sistemas pecuários a pasto.



Fonte: Elaboração própria, com base em Rao et al. (2015), Dias-Filho et al. (2016), Michalk et al. (2017) e Dubeux Júnior et al. (2024).

5 FORRAGEIRAS EM SISTEMAS DE CONFINAMENTO E SEMICONFINAMENTO

Nos sistemas de confinamento e semiconfinamento, as forrageiras assumem papel estratégico principalmente como fonte de volumoso, contribuindo para regularidade de oferta alimentar, manutenção da saúde ruminal e maior controle da dieta. Diferentemente dos sistemas exclusivamente a pasto, nesses modelos parte ou toda a dieta é fornecida no cocho, permitindo maior previsibilidade do consumo de matéria seca e do desempenho animal (Gomes et al., 2015; Medeiros; Gomes; Bungenstab, 2015).

No confinamento, os animais recebem a dieta integralmente no cocho, geralmente composta por volumosos conservados, concentrados energéticos, fontes proteicas, minerais e aditivos. Já no semiconfinamento, os animais permanecem parte do tempo em pastagens e recebem suplementação no cocho, utilizando o pasto como fonte complementar de fibra e como ferramenta de ajuste da lotação. Quando o concentrado é fornecido em maiores proporções, especialmente entre 1,0% e 2,0% do peso corporal, a estratégia se aproxima da Terminação Intensiva a Pasto (TIP), na qual a forragem passa a ter maior função de fibra efetiva e suporte de consumo (Gomes et al., 2010; Silva et al., 2009a).

Entre as formas de conservação de forragens, a silagem é a mais utilizada em sistemas de maior escala, sobretudo pela possibilidade de armazenar grande volume de alimento com boa estabilidade e densidade energética. O feno e a silagem pré-secada também são alternativas importantes, mas exigem maior atenção à espécie utilizada, ao estádio de colheita, ao teor de matéria seca e à janela climática disponível para desidratação (Moraes; Ramos, 1998; Retore et al., 2021).

O milho é uma das principais espécies utilizadas para silagem, em razão do elevado valor energético, boa produção de grãos, fermentação favorável e alta aceitabilidade pelos animais. O sorgo, por sua vez, representa alternativa relevante em regiões com maior risco de déficit hídrico, pois apresenta maior tolerância à seca e pode manter boa produtividade em condições menos favoráveis de disponibilidade de água (Almeida Filho et al., 1999; Pedreira et al., 2003).

Gramíneas tropicais, como *Megathyrsus maximus*, *Urochloa* spp. e capim-elefante, também podem ser utilizadas para produção de volumosos conservados, especialmente em propriedades que já possuem áreas de pastagens produtivas ou que desejam reduzir a dependência de culturas graníferas. Entretanto, não se deve generalizar o uso dessas espécies para feno ou pré-secado, pois a aptidão depende da cultivar, da espessura do colmo, da relação folha/colmo, da velocidade de desidratação e do valor nutritivo no momento do corte (Carvalho et al., 2006; Retore et al., 2021).

Para fenação, espécies do gênero *Cynodon*, como Tifton 85 e Jiggs, são mais indicadas devido aos colmos finos, boa relação folha/colmo e maior facilidade de perda de água. Já cultivares de *Megathyrsus maximus*, como Mombaça, tendem a apresentar maior dificuldade para fenação em razão dos colmos mais grossos e suculentos, sendo mais adequadas ao pastejo intensivo ou, em algumas situações, à ensilagem (Gomide et al., 2016; Carvalho et al., 2018).

No Centro-Oeste, a produção de silagem pré-secada com gramíneas tropicais é uma alternativa possível, mas deve ser planejada com cuidado. Retore et al. (2021), em estudo conduzido em Dourados, MS, avaliaram silagem pré-secada e feno de BRS Tamani consorciado com leguminosas e destacaram a necessidade de pré-secagem para atingir teores entre 40% e 60% de matéria seca, faixa considerada adequada para a ensilagem pré-secada. Esse resultado reforça que o uso de pré-secado em condições tropicais exige controle do teor de matéria seca, trituração ou emurchecimento eficiente e colheita em estádio vegetativo adequado.

O capim-elefante BRS Capiaçu tem se destacado como alternativa de alto potencial produtivo para silagem de baixo custo. Contudo, por apresentar elevado teor de umidade no momento ideal de corte, exige cuidados como murchamento prévio, uso de aditivos absorventes ou associação com ingredientes secos, a fim de reduzir perdas por efluentes e melhorar o padrão fermentativo (Antunes Primo et al., 2021).

Portanto, em confinamento e semiconfinamento, a escolha da forrageira deve considerar não apenas a produtividade por hectare, mas também o tipo de volumoso desejado, o maquinário disponível, a capacidade de armazenamento, o custo de produção, o teor de matéria seca, a digestibilidade da fibra e a compatibilidade com a dieta final dos animais.

Assim, a escolha do volumoso conservado deve ser orientada por critérios técnicos que envolvem a espécie forrageira, o teor de matéria seca, o estádio de colheita, a facilidade de conservação, a estrutura de armazenamento, o maquinário disponível e a finalidade da dieta. Esses critérios estão organizados na Figura 4.

Figura 4. Critérios para escolha de forrageiras destinadas à produção de volumosos conservados.

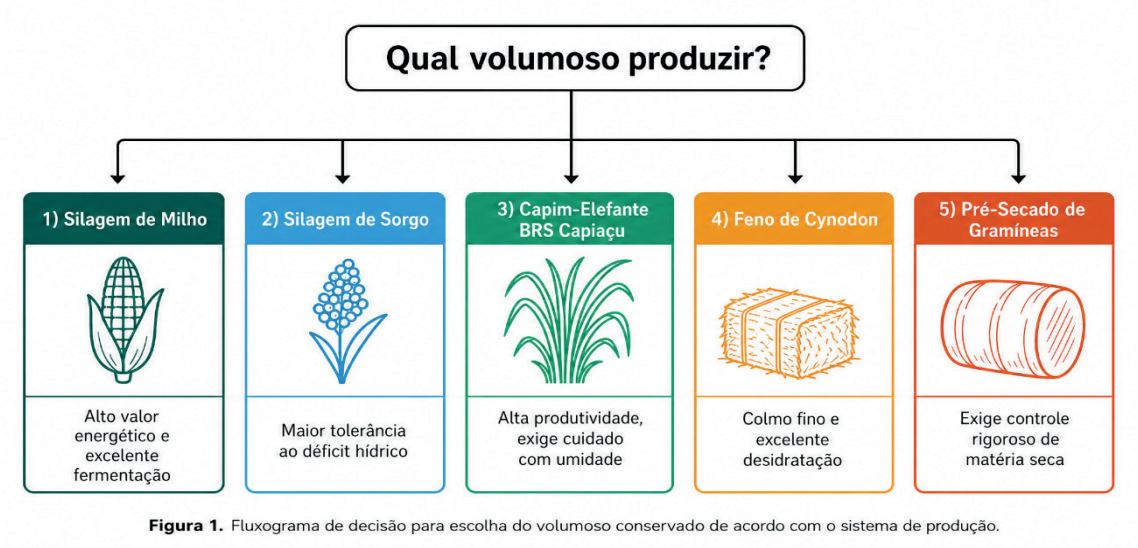


Figura 1. Fluxograma de decisão para escolha do volumoso conservado de acordo com o sistema de produção.

Fonte: Elaboração própria, com base em Moraes e Ramos (1998), Carvalho et al. (2006), Gomes et al. (2015), Retore et al. (2021) e Antunes Primo et al. (2021).

6 FORRAGEIRAS EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO

Com o passar dos anos tem aumentado a demanda por sistemas de produção que considerem o bem-estar animal. Os sistemas integrados de produção têm ganhado destaque por promoverem maior eficiência no uso da terra, diversificação da produção, sustentabilidade ambiental e rotações de cultura. Nesses sistemas, as forrageiras exercem papel central na integração entre agricultura, pecuária e em alguns casos, mostrando resultados satisfatórios, na produção de biomassa (Santos et al., 2009).

Na integração, as forrageiras tropicais são utilizadas em sucessão ou em consórcio com culturas agrícolas para otimizar o uso da área ociosa entre cultivos de grãos. Essa estratégia aumenta a produção de matéria seca e contribui para a ciclagem de nutrientes e a melhoria da estrutura do solo, servindo como cobertura do solo posteriormente após a colheita dos grãos ou a cultura especifica para evitar erosões (Kichel et al., 2014).

Forrageiras recomendadas para Integração Lavoura Pecuária (ILP) incluem espécies dos gêneros *Urochloa* (como *U. brizantha* cvs. Marandu, Piatã, Paiaguás) e *Megathyrsus maximus*, que têm boa adaptabilidade e não competem excessivamente com as culturas agrícolas durante as fases de estabelecimento (Paciullo; Gomide, 2016).

A utilização de braquiárias (principalmente *Urochloa brizantha* e *U. ruziziensis*) após a cultura da soja permite a manutenção da cobertura do solo e a produção de forragem de alta qualidade no período seco (Vilela et al., 2011). Este sistema otimiza o ciclo do N, pois a decomposição da palhada da forrageira libera nutrientes para a cultura subsequente (Macedo, 2009).

O manejo da ILP exige o equilíbrio entre o consumo animal e o aporte de palhada necessário para o sistema plantio direto (SPD). A manutenção de um resíduo forrageiro de 2.500 a 3.000 kg ha de MS é fundamental para proteger o solo contra a erosão e manter a temperatura superficial estável. A decomposição controlada do sistema radicular das gramíneas em profundidade cria bioporos que favorecem a infiltração de água e o desenvolvimento radicular da soja ou milho em sucessão (Macedo, 2009; Vilela et al., 2011).

A Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) amplia os benefícios da ILP ao incorporar o componente arbóreo, promovendo maior sustentabilidade ambiental, Além de fornecer alimento aos animais, as pastagens exercem papel importante na sustentabilidade, enquanto o componente arbóreo contribui diretamente no conforto térmico, melhoria do bem-estar animal e maior eficiência produtiva, fazendo com que a produção seja intensiva e de forma diversificada na mesma área (Duarte, 2018).

O componente florestal, geralmente *Eucalyptus* spp., altera a incidência de radiação fotossinteticamente ativa (RFA), exigindo forrageiras tolerantes ao sombreamento moderado, como o Capim-Piatã ou o Capim-Massai (Paciullo et al., 2011). O balanço entre a densidade de árvores e a produtividade da forragem é o principal desafio técnico (Balbino et al., 2012).

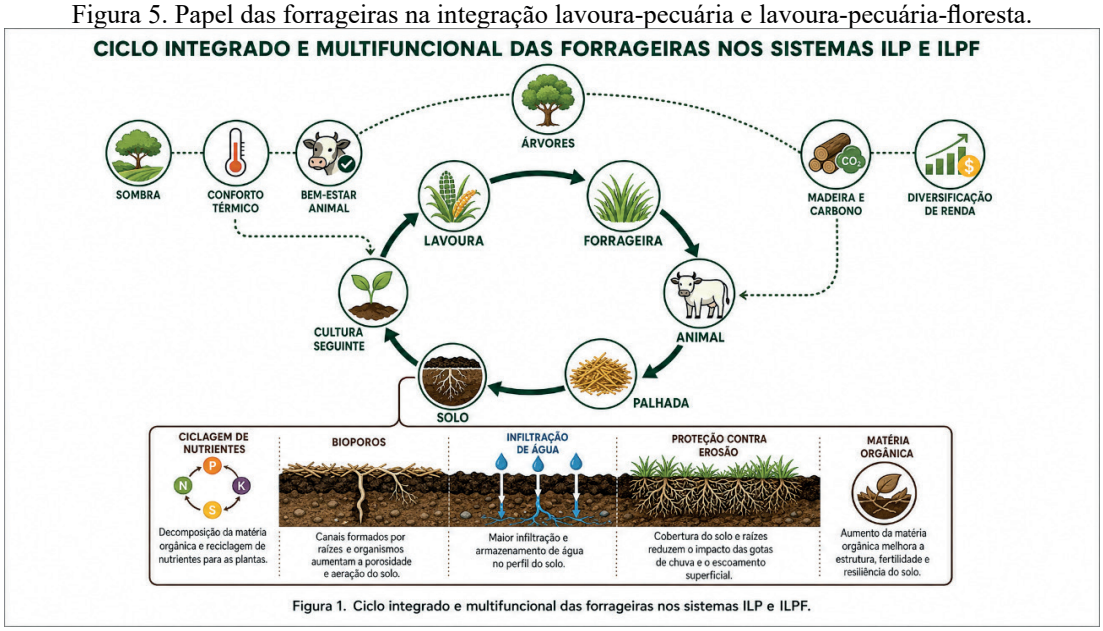
A presença de árvores influencia a composição química da forragem, muitas vezes aumentando o teor de proteína bruta (PB)devido ao menor alongamento celular sob sombra (Almeida et al., 2019). Além dos efeitos sobre a qualidade da pastagem, esse sistema também apresenta vantagens econômicas, ao diversificar a renda da propriedade por meio da produção de madeira e da possibilidade de geração de créditos de carbono. Outro benefício importante é a redução do estresse térmico dos bovinos, favorecendo o bem-estar animal. Nesse contexto, o planejamento adequado do espaçamento entre as árvores é fundamental, especialmente para garantir o tráfego de máquinas agrícolas durante a fase de lavoura. Adicionalmente, o sombreamento pode reduzir a temperatura ambiente em cerca de 3 °C a 5 °C, promovendo maior conforto térmico e, consequentemente, melhorando o tempo de pastejo e a eficiência de ruminação (Alves; Karvatte Junior, 2019).

Contudo, a competição por água e nutrientes entre o componente florestal e a pastagem deve ser gerida através do desbaste e da orientação dos renques (preferencialmente Leste-Oeste). A presença de árvores do gênero *Eucalyptus* pode reduzir a produção de biomassa forrageira em 20% a 40% próximo à linha de plantio, mas compensa através da produção de madeira e sequestro de carbono (Balbino et al., 2012). O sistema é reconhecido como uma das principais ferramentas para a Pecuária de Baixo Carbono (ABC), mitigando as emissões entéricas de metano (Bungenstab et al., 2019).

Os sistemas integrados proporcionam ganhos expressivos em produtividade por área, diluição de custos e diversificação de renda, maior diluição de custos fixos. Economicamente, a verticalização da produção permite que o produtor mitigue riscos de mercado ao não depender de uma única commodity. Do ponto de vista ambiental, promovem maior ciclagem de nutrientes, redução da degradação das pastagens e mitigação de impactos associados à emissão de gases de efeito estufa, reforçando sua importância para a sustentabilidade da pecuária moderna (Almeida et al., 2010).

Nos sistemas integrados, as forrageiras exercem múltiplas funções, atuando simultaneamente na produção de alimento para os animais, na formação de palhada, na ciclagem de nutrientes, na proteção do solo e na melhoria da eficiência de uso da terra. No caso da ILPF, o componente arbóreo amplia esses benefícios ao contribuir para o conforto térmico, a diversificação de renda e a sustentabilidade ambiental, conforme ilustrado na Figura 5.

Figura 5. Papel das forrageiras na integração lavoura-pecuária e lavoura-pecuária-floresta.



Fonte: Elaboração própria, com base em Macedo (2009), Vilela et al. (2011), Balbino et al. (2012), Kichel et al. (2014), Bungenstab et al. (2019) e Almeida et al. (2019).

7 FORRAGEIRAS EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE LEITE

A pecuária leiteira apresenta elevada exigência nutricional, especialmente em sistemas de média e alta produção, o que torna o manejo das forrageiras um fator determinante para o desempenho produtivo e econômico da atividade. Nesse contexto, a produção de volumosos de alto valor nutritivo contribui para reduzir a necessidade de elevada inclusão de concentrados na dieta, diminuindo os custos de alimentação. Além disso, forragens de melhor qualidade favorecem a ruminação e a produção de ácidos graxos no rúmen, refletindo positivamente no teor de gordura do leite (Coutinho et al., 2015).

Animais em lactação demandam dietas com alta densidade energética e adequado equilíbrio entre proteína, fibra e minerais. As forrageiras devem apresentar elevada qualidade nutricional e boa digestibilidade, garantindo ingestão adequada de matéria seca e sustentando altos níveis de produção de leite (Paciullo; Gomide, 2016).

Vacas de alta produção leiteira apresentam exigência metabólica elevada, o que requer volumosos com maior taxa de passagem ruminal e menor teor de frações fibrosas indigestíveis. Nesse sentido, a fibra em detergente neutro (FDN), especialmente sua fração indigestível, constitui importante fator limitante, pois ocupa espaço no rúmen por longos períodos sem fornecer energia. O balanço entre a energia metabolizável e a proteína degradável no rúmen (PDR) é crítico para a síntese de proteína microbiana (NRC, 2001). Forrageiras com alta digestibilidade da matéria seca (DMS) são essenciais para evitar o enchimento ruminal precoce, que limita o consumo de matéria seca (Oliveira et al., 2011).

Gramíneas tropicais bem manejadas podem atingir teores de 15% a 18% de PB, mas a qualidade dessa proteína diminui drasticamente com o avançar da idade da planta devido à lignificação (Reis et al., 2012). O controle da relação energia: proteína na forragem é o que determina a eficiência do N e a redução da excreção de ureia no meio ambiente (Berchielli et al., 2012).

O pastejo rotacionado, associado à suplementação estratégica, é amplamente utilizado para manter a qualidade da forragem e reduzir variações na oferta alimentar, mas exige uma série de manejos rigoroso que feitos de forma incorreta podem comprometer o planejamento e o ciclo, como controle de altura e saída de capim, adubação de manutenção e cobertura, ajuste de carga animal, suplementação correta (Steinwandter et al., 2009).

O manejo para leite exige precisão no resíduo de pastejo para garantir a rebrota rápida e a ingestão apenas da fração foliar, que detém a maior densidade de nutrientes. O uso de pré-pastejo e pós-pastejo com base na altura da planta, visando interceptação luminosa próxima de 95%, é uma ferramenta prática para ajustar o momento de entrada e saída dos animais em gramíneas tropicais manejadas sob lotação rotativa (Silva et al., 2009b; Barbosa et al., 2011). Quando o pasto ultrapassa esse ponto ocorre o sombreamento basal das folhas causando a morte das folhas inferiores e alongamento do caule reduzindo valor nutricional. A irrigação, associada ao manejo adequado da adubação e, quando tecnicamente viável, à fertirrigação, pode contribuir para reduzir a estacionalidade da produção de forragem e estabilizar a oferta de pasto em sistemas intensivos de produção de leite (Alencar et al., 2009).

A adoção do pastejo de ponta (*top-grazing*), em que as vacas em lactação têm acesso inicial ao piquete, favorece a seleção de uma dieta de maior qualidade e valor nutritivo (Botrel et al., 1999). Além disso, o manejo da fertilidade do solo, com atenção especial ao N e K é essencial para repor os nutrientes exportados pelo sistema, especialmente por meio da produção de leite. Nesse contexto, o monitoramento do N ureico no leite (NUL) constitui uma ferramenta importante para o ajuste da relação entre forragem e concentrado na dieta, contribuindo para maior eficiência nutricional e produtiva.

A aplicação de até 400 kg de N ha^{-1} ano^{-1} pode sustentar taxas de lotação extremamente elevadas, transformando a fazenda em uma verdadeira "fábrica de massa verde" (Santos et al., 2016). Nesse contexto, o monitoramento da fertilidade do solo deve ser contínuo, uma vez que a intensa exportação de nutrientes, tanto via produção de leite quanto pela remoção de forragem, pode levar ao rápido esgotamento das reservas minerais do sistema (Carvalho et al., 2017).

Entre as forrageiras tropicais mais utilizadas no sistema de produção de leite, destacam-se cultivares do gênero *Megathyrsus*, como Mombaça, Tanzânia e Zuri, além de espécies de *Urochloa* spp., devido ao elevado potencial produtivo, boa produção de matéria seca e alta digestibilidade.

Essas espécies, quando bem manejadas, permitem sustentar altas produções de leite com eficiência econômica (Euclides et al., 2014).

O gênero *Cynodon* (Tifton 85) é altamente valorizado em sistemas leiteiros pela sua excepcional digestibilidade e resposta à adubação intensiva (Moreira et al., 2015; Silva et al., 2016; Sanches et al., 2016). Em regiões de clima subtropical ou em áreas de maior altitude, forrageiras de inverno, como aveia, azevém, ervilhacas e trevos, podem ser utilizadas para complementar a produção das gramíneas tropicais, reduzindo o vazio forrageiro e ampliando a oferta de alimento de melhor valor nutritivo no período frio (Fontaneli et al., 2012).

8 FORRAGEIRAS EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE CARNE

Na criação de bovinos de corte, as forrageiras constituem a principal base alimentar dos animais, especialmente em sistemas a pasto, sendo determinantes para o ganho de peso, eficiência produtiva, tempo de acabamento do animal, com menor custo de produção (Paulino et al., 2002).

A pecuária de corte brasileira sustenta-se predominantemente no gênero *Urochloa*, com destaque para a *U. brizantha* cv. Marandu. Esta espécie revolucionou o setor pela sua adaptação a solos ácidos e resistência à cigarrinha-das-pastagens, solo de baixa fertilidade. Em áreas de solo mais fértil ou manejo intensivo, os cultivares de *Megathyrsus maximus* proporcionam ganhos de peso por área significativamente superior, em sistemas que visam o abate de animais precoces (Dias-Filho, 2014).

A base genética das forrageiras constitui um dos primeiros requisitos para que o potencial produtivo dos bovinos de corte seja efetivamente expresso, uma vez que os animais selecionam preferencialmente lâminas foliares verdes, de maior digestibilidade ruminal (Dias-Filho, 2016). Nesse sentido, a diversificação de cultivares, com a inclusão de *Urochloa humidicola* em áreas mal drenadas, e o uso de híbridos como Convert e Camello representam estratégias relevantes para ampliar a adaptação das pastagens, elevar o valor nutritivo e conferir maior tolerância a estresses bióticos e abióticos, incluindo pragas e condições edafoclimáticas limitantes (Euclides et al., 2018; Rocha et al., 2023). Assim, a composição da base forrageira assume papel central tanto na segurança biológica dos sistemas de produção quanto na competitividade do “boi verde” brasileiro no mercado internacional.

A escolha das forrageiras deve considerar a categoria animal, como cria, recria ou terminação. Animais jovens e em crescimento demandam forragens de maior qualidade nutricional, enquanto categorias de menor exigência pode ser alocadas em pastagens de menor valor nutritivo, desde que bem manejadas (Paulino et al., 2002; Reis et al., 2009).

Animais em fase de recria e terminação exigem pastagens de melhor qualidade para garantir deposição de carcaça e gordura. Vacas de cria, com menor exigência nutricional comparativa (exceto no pico de lactação), podem ser mantidas em pastagens de menor custo ou áreas de relevo acidentado (Reis et al., 2009). Bezerros desmamados (creep-feeding) necessitam de acesso a forragens ricas em proteína para evitar o “estresse da desmama”.

A categoria animal determina a pressão de pastejo no sistema, uma vez que animais em terminação demandam forragem de melhor qualidade e, portanto, maior seletividade, enquanto vacas secas podem ser utilizadas no “repasse”, contribuindo para a limpeza do pasto. Além disso, a estrutura do dossel forrageiro, expressa pela densidade de perfilhos e pela relação folha: colmo, influencia

diretamente o tempo de pastejo, o consumo de forragem e a taxa de lotação. Nesse contexto, o ajuste da carga animal destaca-se como a principal ferramenta de gestão do pastejo pelo pecuarista (Sales et al., 2008).

Bezerros em fase de crescimento apresentam trato digestório menos desenvolvido e maior exigência proteica, o que justifica o uso do *creep grazing*, estratégia que permite acesso exclusivo a pastagens de alta qualidade, como o Tifton 85. O manejo de fêmeas de reposição (novilhas) também é decisivo, pois atrasos no crescimento comprometem a idade à puberdade e podem reduzir a vida útil reprodutiva dos animais. Nesse contexto, a estratégia de alocação de pastos constitui uma das formas mais eficientes de direcionar a energia produzida na propriedade para as categorias de maior retorno econômico, favorecendo o aumento do lucro líquido (Santos et al., 2004).

Estratégias como intensificação do pastejo, adubação nitrogenada e uso de suplementação estratégica permitem maximizar o ganho de peso e acelerar o acabamento dos animais. A integração entre manejo forrageiro e nutricional é fundamental para aumentar a eficiência e reduzir o tempo de abate e suplementação energética quando necessário para acelerar o ganho de peso e melhorar acabamento de carcaça (Silva, 2008).

O diferimento de pastagens (vedação) é uma técnica comum para garantir estoque de forragem para o período seco, embora com perda de qualidade nutricional. O uso de suplementação proteica ou proteico-energética no pasto compensa a queda de proteína da forragem senescente (Silva et al., 2009a).

Estratégias como a terminação intensiva a pasto e o semiconfinamento utilizam suplementação concentrada para elevar o ganho de peso e reduzir o tempo de terminação, mantendo a forragem como fonte de fibra e suporte ao consumo. Assim, o planejamento forrageiro anual deve ser estruturado para minimizar perdas de peso no período seco e favorecer maior giro de capital na atividade (Gomes et al., 2015; Reis et al., 2009; Silva et al., 2009a).

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nos últimos anos a forragicultura deixou de ser uma atividade extrativista para se tornar uma ciência de precisão. Os dados demonstram que a produtividade animal é um reflexo direto da eficiência na fotossíntese e na conversão da biomassa vegetal em proteína animal. A integração de sistemas (ILPF) e a conservação estratégica de forragens surgem não apenas como soluções econômicas, mas como imperativos ambientais para a sustentabilidade do agronegócio frente às mudanças climáticas, mostrando que não é necessário abertura de novas áreas, possível aumentar a produção nas mesmas áreas. Com Base nisso o domínio sobre o manejo do pastejo respeitando os limites fisiológicos de rebrota da planta e as exigências nutricionais das diferentes categorias pode ser uma ferramenta essencial é o que separa sistemas lucrativos de sistemas em degradação. O futuro da produção de carne e leite reside na intensificação sustentável, onde o solo é tratado como um organismo vivo, a planta como uma colhedora de energia solar e o animal como o transformador final de valor, entretanto essa intensificação exige maior conhecimento técnico, planejamento e acompanhamento constante dos indicadores produtivos e ambientais.

O pasto é a colheita mais barata da fazenda, e sua gestão científica é a base para a segurança alimentar e competitividade do agronegócio global é essencial para maximizar produtividade animal ao mesmo tempo em que minimiza impactos ambientais e custos de produção.

DECLARAÇÃO DE USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Os autores declaram que utilizaram a ferramenta ChatGPT, da OpenAI, modelo GPT-5.5 Thinking, como apoio na elaboração deste capítulo, especialmente na organização textual, revisão da redação acadêmica e elaboração de figuras, esquemas e elementos visuais.

Todo o conteúdo textual e visual produzido com apoio da IA foi revisado, ajustado e validado pelos autores, que assumem integral responsabilidade pelo capítulo. A Inteligência Artificial não foi considerada autora ou coautora.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, A. P. A.; RESENDE, J. R.; RESENDE, C. R.; LIMA, A. R. P. Avaliação do ganho de peso de bovinos e produtividade animal em pastagem de capim-mombaça manejada intensivamente. In: SIMPÓSIO DE FORRAGICULTURA NA REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 42., 2005, Goiânia. **Anais** [...]. Goiânia: SBZ, 2005.

ALENCAR, C. A. B. de; CUNHA, F. F. da; MARTINS, C. E.; CÓSER, A. C.; ROCHA, W. S. D. da; ARAÚJO, R. A. S. Irrigação de pastagem: atualidade e recomendações para uso e manejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 38, p. 98-108, 2009.

ALMEIDA FILHO, S. L. de; FONSECA, D. M. da; GARCIA, R.; OBEID, J. A.; OLIVEIRA, J. S. e. Características agronômicas de cultivares de milho (Zea mays L.) e qualidade dos componentes e silagem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 28, n. 1, p. 7-13, 1999.

ALMEIDA, R. G. de. Sistemas agrossilvipastoris: benefícios técnicos, econômicos, ambientais e sociais. In: ENCONTRO SOBRE ZOOTECNIA DE MATO GROSSO DO SUL, 7., 2010, Campo Grande. **Anais** [...]. Campo Grande: UFMS, 2010. p. 1-10.

ALMEIDA, R. G. de; EUCLIDES, V. P. B.; BARBOSA, R. A.; MACEDO, M. C. M. **Forrageiras em sistemas de produção de bovinos em integração**. Brasília, DF: Embrapa, 2019.

ALVES, F. V.; KARVATTE JUNIOR, N. Benefícios da sombra em sistemas em integração lavoura-pecuária-floresta nos trópicos. In: BUNGENSTAB, D. J.; ALMEIDA, R. G. de; LAURA, V. A.; BALBINO, L. C.; FERREIRA, A. D. (ed**.). ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta**. Brasília, DF: Embrapa, 2019. p. 526-541.

AMORIM, D. S.; SILVA, A. L. da; SOUSA, S. V. de. Caracterização e restrições de forrageiras indicadas para as diferentes espécies de animais de produção: revisão. **Revista Eletrônica Científica da UERGS**, v. 3, n. 1, p. 215-237, 2017.

ANTUNES PRIMO, A. de O.; LOPES, A. B.; DIAS, G. F. G.; LEITE, J. E. da S.; PAULA, S. de**. Produção de silagem utilizando o capim-elefante BRS Capiaçu (*Pennisetum purpureum* Schum.).** 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Técnico em Agropecuária) - Escola Técnica Estadual Benedito Storani, Jundiaí, 2021.

BALBINO, L. C.; KICHEL, A. N.; BUNGENSTAB, D. J.; ALMEIDA, R. G. de. **Sistemas de integração: o que são, suas vantagens e limitações**. In: BUNGENSTAB, D. J. (ed.). Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta: a produção sustentável. Brasília, DF: Embrapa, 2012. v. 2, p. 11-18.

BARBOSA, R. A.; NASCIMENTO JÚNIOR, D.; VILELA, H. H.; SILVA, S. C.; EUCLIDES, V. P. B.; SBRISSIA, A. F.; SOUSA, B. M. L. Morphogenic and structural characteristics of guinea grass pastures submitted to three frequencies and two defoliation severities. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 5, p. 947-954, 2011.

BERCHIELLI, T. T.; MESSANA, J. D.; CANESIN, R. C. Produção de metano entérico em pastagens tropicais. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 13, p. 954-968, 2012.
BOTREL, M. de A.; ALVIM, M. J.; XAVIER, D. F. Avaliação de gramíneas forrageiras na região sul de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, p. 683-689, 1999.

BUNGENSTAB, D. J.; ALMEIDA, R. G. de; LAURA, V. A.; BALBINO, L. C.; FERREIRA, A. D. (ed.). **ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta**. Brasília, DF: Embrapa, 2019.

CARVALHO, G. G. P.; PIRES, A. J. V.; VELOSO, C. M.; DETMANN, E.; SILVA, F. F.; SILVA, R. R. Degradabilidade ruminal do feno de alguns alimentos volumosos para ruminantes. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 58, n. 4, p. 575-580, 2006.

CARVALHO, W. T. V.; GONÇALVES, L. C.; RODRIGUES, J. A. S.; BORGES, I.; RODRIGUES, N. M.; RIBEIRO JÚNIOR, G. O. **Holstein heifers' behavior fed with pre-dried silage from Tifton 85 grass (Cynodon spp.)**. 2018.

CARVALHO, W. T. V.; MINIGHIN, D. C.; GONÇALVES, L. C.; VILLANOVA, D. F. Q.; MAURÍCIO, R. M.; PEREIRA, R. V. G. Pastagens degradadas e técnicas de recuperação: revisão. **Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 11, n. 10, p. 1036-1045, 2017.

COUTINHO, P. W. R.; GALDINO, I. L. C.; MOTA, A. V. Aspectos nutricionais da bovinocultura leiteira do município de Irituia-PA. **Nucleus Animalium**, v. 7, n. 1, p. 1, 2015.

CRUZ, N. T.; FRIES, D. D.; JARDIM, R. R.; SOUSA, B. M. de L. Alternatives for the recovery and renewal of degraded pastures. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 28, n. 1, p. 15-35, 2022.

DIAS-FILHO, M. B. **Estratégias de recuperação de pastagens na Amazônia. In: Intensificação da produção animal em pastagens**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2014. p. 9.

DIAS-FILHO, M. B. **Uso de pastagens para a produção de bovinos de corte no Brasil: passado, presente e futuro**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2016. 42 p. (Documentos, 418).

DIEHL, M. S.; OLIVO, C. J.; AGNOLIN, C. A.; BRATZ, V. F.; BEM, C. M. de; AGUIRRE, P. F.; GLIENKE, C. L.; CORREA, M. da R.; SERAFIM, G. Produtividade de sistemas forrageiros consorciados com leguminosas. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 65, n. 5, p. 1527-1536, 2013.

DUARTE, S. M. **Sombreamento contínuo e intermitente e a resposta produtiva e bromatológica das forrageiras *Megathyrsus maximus* e *Urochloa brizantha***. 2018. 47 f. Dissertação (Mestrado em Produção Animal) - Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, 2018.

DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; JARAMILLO, D. M.; SANTOS, E. R. S.; GARCIA, L.; QUEIROZ, L. M. D.; BRETAS, I. L.; SOUZA, C. H. L. de; TRUMPP, K. R. Sustainable intensification of livestock systems using forage legumes in the Anthropocene. **Grass and Forage Science**, v. 79, n. 4, p. 481-498, 2024. DOI: 10.1111/gfs.12696.

EUCLIDES, V. P. B.; MONTAGNER, D. B.; BARBOSA, R. A.; NANTES, N. N. Manejo do pastejo de cultivares de *Brachiaria brizantha* (Hochst) Stapf e de *Panicum maximum* Jacq. **Revista Ceres**, v. 61, p. 808-818, 2014.

EUCLIDES, V. P. B.; NANTES, N. N.; MONTAGNER, D. B.; ARAÚJO, A. R.; BARBOSA, R. A.; DIFANTE, G. S. Beef cattle performance in response to Ipyporã and Marandu brachiariagrass cultivars under rotational stocking management. **Revista Brasileira de Zootecnia,** v. 47, e20180018, 2018.

FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S. **Forrageiras para integração lavoura-pecuária-floresta na região sul-brasileira.** 2. ed. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2012. 542 p.

GOMES, R. da C.; NUNEZ, A. J. C.; MARINO, C. T.; MEDEIROS, S. R. de. Estratégias alimentares para gado de corte: suplementação a pasto, semiconfinamento e confinamento. In: MEDEIROS, S. R. de; GOMES, R. da C.; BUNGENSTAB, D. J. (ed.). **Nutrição de bovinos de corte: fundamentos e aplicações.** Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 119-140.

GOMIDE, C. A. de M.; PACIULLO, D. S. C.; LEITE, J. L. B.; RESENDE, H. ***Panicum maximum* cvs. Tanzânia e Mombaça para uso em pastejo: produção e custo.** Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2016. 7 p. (Embrapa Gado de Leite. Circular Técnica, 113).

IBGE. Censo agropecuário 2017: resultados definitivos. Rio de Janeiro: IBGE, 2019.

KICHEL, A. N.; COSTA, J. A. A.; ALMEIDA, R. G. de; PAULINO, V. T. Sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF): experiência no Brasil. **Boletim de Indústria Animal**, v. 71, n. 1, p. 94-105, 2014.

LÜSCHER, A.; MUELLER-HARVEY, I.; SOUSSANA, J.-F.; REES, R. M.; PEYRAUD, J.-L. Potential of legume-based grassland-livestock systems in Europe: a review. **Grass and Forage Science**, v. 69, n. 2, p. 206-228, 2014.

MACEDO, M. C. M. Análise comparativa de recomendações de adubação em pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 21., 2004, Piracicaba. **Anais** [...]. Piracicaba: FEALQ, 2004. p. 317-356.

MACEDO, M. C. M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 133-146, 2009.

MARTHA JÚNIOR, G. B.; VILELA, L. **Pastagens no Cerrado: baixa produtividade pelo uso limitado de fertilizantes**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2002. 32 p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 50).

MEDEIROS, S. R. de; GOMES, R. da C.; BUNGENSTAB, D. J. (ed.). **Nutrição de bovinos de corte: fundamentos e aplicações.** Brasília, DF: Embrapa, 2015.

MENDES, L. G. R.; MARTINS, A. D.; FREIRE, A. I. Manejo de pastagem rotacionado na pecuária de corte com ênfase no bem-estar do animal. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 7, e42311730159, 2022.

MICHALK, D. L.; BADGERY, W.; KEMP, D. Balancing animal, pasture and environmental outcomes in grazing management experiments. **Animal Production Science**, v. 57, n. 9, p. 1775-1784, 2017.

MORAES, E. A.; RAMOS, A. K. B. **Produção de feno**. Planaltina, DF: Embrapa-CPAC, 1998. (Comunicado Técnico, 76).

MOREIRA, A. L.; FAGUNDES, J. L.; YOSHIHARA, E.; BACKES, A. A.; BARBOSA, L. T.; OLIVEIRA JÚNIOR, L. F. G. de; SANTOS, G. R. de A.; SANTOS, M. A. da S. A. Biomass of the forage in Tifton 85 pastures fertilized with nitrogen and managed under continuous stocking. **Semina: Ciências Agrárias,** Londrina, v. 36, n. 3, supl. 1, p. 2275-2286, 2015. DOI: 10.5433/1679-0359.2015v36n-3Supl1p2275.

MUHAMMAD, A. S.; ABDURRAHAMAN, S. L.; UMAR, A. M.; MUHAMMAD, Y.; DAHIRU, M.; KABIR, A. U.; ALHASSAN, A. Assessment, contributions and management of rangelands: a review. **Nigerian Journal of Animal Production**, p. 1675-1678, 2024. DOI: 10.51791/njap.vi.7247.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of dairy cattle**. 7th rev. ed. Washington, DC: National Academies Press, 2001.

OLIVEIRA, A. S. de; DETMANN, E.; CAMPOS, J. M. de S.; PINA, D. dos S.; SOUZA, S. M. de; COSTA, M. G. Meta-análise do impacto da fibra em detergente neutro sobre o consumo, a digestibilidade e o desempenho de vacas leiteiras em lactação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 7, p. 1587-1595, 2011.

PACIULLO, D. S. C.; CASTRO, C. R. T.; GOMIDE, C. A. de M.; MAURÍCIO, R. M.; PIRES, M. F. A.; MÜLLER, M. D.; XAVIER, D. F. Performance of dairy heifers in a silvopastoral system. **Livestock Science**, v. 141, n. 2-3, p. 166-172, 2011.

PACIULLO, D. S. C.; GOMIDE, C. A. de M. As contribuições de Brachiaria e Panicum para a pecuária leiteira. In: VILELA, D.; FERREIRA, R. de P.; FERNANDES, E. N.; JUNTOLLI, F. V. (ed.). **Pecuária de leite no Brasil: cenários e avanços tecnológicos**. Brasília, DF: Embrapa, 2016. p. 167-186.

PAULINO, M. F.; ZERVOUDAKIS, J. T.; MORAES, E. H. B. K.; DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S. C. Bovinocultura de ciclo curto em pastagens. In: SIMPÓSIO DE PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE, 3., 2002, Viçosa. **Anais** [...]. Viçosa: UFV, 2002. p. 153-196.

PEDREIRA, M. dos S.; REIS, R. A.; BERCHIELLI, T. T.; MOREIRA, A. L.; COAN, R. M. Características agronômicas e composição química de oito híbridos de sorgo [Sorghum bicolor (L.) Moench]. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n. 5, p. 1083-1092, 2003.

RAO, I. M.; PETERS, M.; CASTRO, A. R. da C.; SCHULTZE-KRAFT, R.; WHITE, D.; FISHER, M.; MILES, J. W.; LASCANO, C. E.; BLÜMMEL, M.; BUNGENSTAB, D. J.; TAPASCO, J.; HYMAN, G.; BOLLIGER, A.; PAUL, B. K.; VAN DER HOEK, R.; MAASS, B. L.; TIEMANN, T.; CUCHILLO, M.; DOUXCHAMPS, S.; VILLANUEVA, C.; RINCÓN, A.; AYARZA, M.; ROSENSTOCK, T.; SUBBARAO, G. V.; ARANGO, J.; CARDOSO, J. A.; WORTHINGTON, M.; CHIRINDA, N.; NOTENBAERT, A.; JENET, A.; SCHMIDT, A.; VIVAS, N.; LEFROY, R.; FAHRNEY, K.; GUIMARÃES, E.; TOHME, J.; COOK, S.; HERRERO, M.; CHACÓN, M.; SEARCHINGER, T.; RUDEL, T. LivestockPlus: the sustainable intensification of forage-based agricultural systems to improve livelihoods and ecosystem services in the tropics. **Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales**, v. 3, n. 2, p. 59-82, 2015. DOI: 10.17138/TGFT(3)59-82.

REIS, R. A.; RUGGIERI, A. C.; CASAGRANDE, D. R.; PÁSCOA, A. G. Suplementação da dieta de bovinos de corte como estratégia do manejo das pastagens. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 147-159, 2009.

REIS, R. A.; RUGGIERI, A. C.; OLIVEIRA, A. A.; AZENHA, M. V.; CASAGRANDE, D. R. Suplementação como estratégia de produção de carne de qualidade em pastagens tropicais. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 13, p. 642-655, 2012.

RETORE, M.; ORRICO JÚNIOR, M. A. P.; GALEANO, E. S. J.; ALVES, J. P.; FERNANDES, T.; ORRICO, A. C. A.; VICENTE, E. F.; MACHADO, L. A. Z.; CECCON, G. **Produtividade e valor nutricional de silagem pré-secada e feno de consórcios de *Panicum maximum* cv. BRS Tamani com leguminosas.** Dourados, MS: Embrapa Agropecuária Oeste, 2021. (Comunicado Técnico, 267).

REZENDE, P. R.; RODRIGUES, L. M.; BACKES, C.; TEODORO, A. G.; SANTOS, A. J. M.; FERNANDES, P. B.; GIONGO, P. R.; RIBON, A. A.; BESSA, S. V. Productivity and nutrient extraction by Paiaguás palisadegrass, single and intercropping with pigeon pea, submitted to doses of nitrogen. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 74, n. 6, p. 1151-1160, 2022.

ROCHA, D.; WALTRICK, I. R.; CORDOVA, U.; FLARESSO, J.; STRADIOTO, J. Avaliação agronômica de braquiárias-híbridas no Planalto Sul Catarinense. **Revista Latinoamericana Ambiente e Saúde**, v. 5, n. 3, especial, p. 288-293, 2023.

ROCHON, J. J.; DOYLE, C. J.; GREEF, J. M.; HOPKINS, A.; MOLLE, G.; SITZIA, M.; SCHOLEFIELD, D.; SMITH, C. Grazing legumes in Europe: a review of their status, management, benefits, research needs and future prospects. **Grass and Forage Science**, v. 59, n. 3, p. 197-214, 2004.

RODRIGUES, L. F.; SANTOS, A. C.; SILVEIRA JÚNIOR, O.; SANTOS, J. G. D.; FARIA, A. F. G.; COELHO, B. P. L. Morphogenic and structural characteristics of Marandu grass cultivated under grazing management and nitrogen fertilization. Semina: **Ciências Agrárias**, v. 40, n. 5, supl. 1, p. 2331-2340, 2019.

SALES, M. F. L.; PAULINO, M. F.; PORTO, M. O.; MORAES, E. H. B. K.; BARROS, L. V.; VILELA, S. D. J.; COUTO, V. R. M. Níveis de energia em suplementos múltiplos para terminação de novilhos em pastagem de capim-braquiária durante o período de transição águas-seca. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 9, p. 1704-1712, 2008.

SANCHES, A. C.; GOMES, E. P.; RICKLI, M. E.; FRISKE, E. Produtividade, composição botânica e valor nutricional do Tifton 85 nas diferentes estações do ano sob irrigação. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, Grandes Culturas, p. 221-232, 2016. DOI: 10.15809/irriga.2016v1n1p221-232.

SANTOS, E. D. G.; PAULINO, M. F.; VALADARES FILHO, S. C.; LANA, R. de P.; QUEIROZ, D. S.; FONSECA, D. M. Terminação de tourinhos Limousin x Nelore em pastagem de Brachiaria decumbens Stapf., durante a estação seca, alimentados com diferentes concentrados. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n. 6, p. 1627-1637, 2004.

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; SPERA, S. T.; TOMM, G. O. Efeito de sistemas de produção integração lavoura-pecuária (ILP) sobre a fertilidade do solo em plantio direto. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 31, p. 719-727, 2009.

SANTOS, M. E. R. Adubação de pastagens: possibilidades de utilização. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 6, n. 11, p. 1-15, 2010.

SANTOS, M. P. dos; CASTRO, Y. de O.; MARQUES, R. de C.; PEREIRA, D. R. M.; GODOY, M. M. de; REGES, N. P. R. Importância da calagem, adubações tradicionais e alternativas na produção de plantas forrageiras: revisão. **Pubvet**, v. 10, n. 1, p. 1-12, 2016.

SILVA, F. F. da; SÁ, J. F.; SCHIO, A. R.; ÍTAVO, L. C. V.; SILVA, R. R.; MATEUS, R. G. Suplementação a pasto: disponibilidade e qualidade x níveis de suplementação x desempenho. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. esp., p. 371-389, 2009a.

SILVA, R. R. **Terminação de novilhos Nelore suplementados em pastagens: comportamento, desempenho, características da carcaça e da carne e a economicidade do sistema**. 2008. 160 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2008.

SILVA, S. C.; BUENO, A. A. O.; CARNEVALLI, R. A.; UEBELE, M. C.; BUENO, F. O.; HODGSON, J.; MATTHEW, C.; ARNOLD, G. C.; MORAIS, J. P. G. Sward structural characteristics and herbage accumulation of *Panicum maximum* cv. Mombaça subjected to rotational stocking managements**. Scientia Agricola**, v. 66, n. 1, p. 8-19, 2009b.

SILVA, W. L. da; COSTA, J. P. R.; CAPUTTI, G. P.; GALZERANO, L.; RUGGIERI, A. C.; MALHEIROS, E. B. Efeitos de resíduos pós-pastejo sobre características morfogênicas e estruturais de pastos de Tifton 85. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 37, n. 4, p. 2043-2052, 2016.

STEINWANDTER, E.; OLIVO, C. J.; SANTOS, J. C. dos; ARAÚJO, T. L. R. de; AGUIRRE, P. F.; DIEHL, M. S. Produção de forragem em pastagens consorciadas com diferentes leguminosas sob pastejo rotacionado. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 31, n. 2, p. 131-137, 2009.

TABOADA, M. A.; RUBIO, G.; CHANETON, E. J. **Grazing impacts on soil physical, chemical, and ecological properties in forage production systems.** In: Soil Management: Building a Stable Base for Agriculture. Madison: ASA; CSSA; SSSA, 2015. p. 301-320.

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

VILLALBA, J. J.; MANTECA, X.; VERCOE, P. E.; MALONEY, S. K.; BLACHE, D. Integrating nutrition and animal welfare in extensive systems. In: Nutrition and the Welfare of **Farm Animals.** Cham: Springer, 2016. p. 135-163.

WIEDERHECKER, A.; FERREIRA, M. C.; RODRIGUES, S. B.; SCHMIDT, I. B.; SAMPAIO, A. B.; RIBEIRO, J. F.; OGATA, R. S.; RODRIGUES, M. I.; SILVA-COELHO, A. C.; ABREU, I. S.; MONTENEGRO, T. F.; VIEIRA, D. L. M. Ten years of directing seeding restoration in the Brazilian savanna: lessons learned and the way forward. **Journal of Environmental Management**, v. 365, 121576, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121576.

CORREÇÃO E ADUBAÇÃO DO SOLO PARA PASTAGENS: PRINCÍPIOS E PRÁTICAS PARA ALTA PRODUTIVIDADE FORRAGEIRA

10.56238/livrosindi2026111-005

Ana Cláudia Soares Mendes
Ana Paula Galvão Silva
Pedro Rogério Giongo
Rodrigo Medeiros da Silva
Arthur Gabriel Teodoro

1 INTRODUÇÃO

A pecuária ocupa posição de destaque no cenário mundial, sendo conduzida predominantemente em sistemas extensivos de criação, sobretudo em regiões com clima tropical.

Diante deste contexto, a produtividade e a sustentabilidade dos sistemas pecuários dependem diretamente da capacidade do solo em fornecer condições adequadas ao desenvolvimento das forrageiras, que constituem a principal fonte de alimentação para os ruminantes. Nesse sentido, o manejo eficiente da fertilidade do solo, de acordo com as exigências nutricionais das forrageiras, torna-se essencial para consolidar sistemas pecuários economicamente viáveis e ambientalmente sustentáveis (Malavolta, 2006; Taiz et al., 2017).

O sistema de produção animal em pastagem deve ser compreendido a partir da relação direta entre solo, planta e animal, formando um sistema dinâmico e interdependente. O solo atua como suporte físico e reservatório de água e nutrientes; as plantas transformam nutrientes minerais em biomassa por meio de processos fisiológicos; e os animais, ao consumirem a forragem, contribuem para a ciclagem de nutrientes ao devolverem parte desses elementos ao solo pelas excretas. Alterações em qualquer um desses componentes comprometem diretamente os demais, tornando evidente a necessidade de manejo integrado (Brady; Weil, 2013; Havlin et al., 2014).

Em regiões de clima tropical, a elevada acidez, a intensa lixiviação e a limitada disponibilidade de nutrientes constituem alguns dos principais fatores limitantes à produtividade de pastagens. Nessas condições, o crescimento radicular, a absorção de nutrientes e a persistência das forrageiras são prejudicados, refletindo em baixa produção de biomassa e maior suscetibilidade dessas áreas à degradação. Dessa forma, a correção da acidez e a reposição de nutrientes tornam-se essenciais para garantir o desenvolvimento adequado e sustentável do sistema solo-planta-animal (Raij, 2011; Lopes; Guilherme, 2007).

A nutrição mineral de plantas forrageiras baseia-se na disponibilidade, na absorção e no aproveitamento metabólico de macro e micronutrientes, elementos essenciais ao adequado desempenho fisiológico vegetal. A manutenção do equilíbrio nutricional reflete-se diretamente no vigor vegetativo, na produtividade de biomassa e no valor bromatológico da forragem. Contudo, em solos tropicais, a ocorrência de deficiências nutricionais constitui um dos fatores mais limitantes à produção e, quando

negligenciada, compromete o teto produtivo das pastagens e a viabilidade econômica da pecuária (Malavolta, 2006; Taiz et al., 2017).

A análise de solo atua, portanto, como alicerce para o diagnóstico da fertilidade e para o planejamento de estratégias de manejo. A partir da interpretação dos atributos químicos e físicos, torna-se viável identificar restrições, balizar a aplicação de insumos e otimizar o uso de corretivos e fertilizantes. Essa abordagem potencializa a eficiência produtiva e assegura uma exploração agrícola mais racional e conservacionista (Teixeira et al., 2017; Raij, 1991).

No âmbito das intervenções químicas, a calagem e a gessagem ocupam papel central na melhoria das condições do solo em diferentes camadas. Enquanto a calagem eleva o pH, neutraliza o alumínio tóxico (Al^{3+}) na camada superficial e fornece cálcio (Ca) e magnésio (Mg), a gessagem atua de forma complementar na camada subsuperficial, fornecendo cálcio e enxofre (S) e reduzindo os efeitos tóxicos do alumínio em profundidade.

A adubação é a principal prática para a reposição de nutrientes removidos pelas culturas ao longo dos ciclos produtivos. A reposição nutricional é indispensável para manter a produtividade, preservar a fertilidade do solo e sustentar os sistemas agrícolas ao longo do tempo (Cantarutti et al., 2007).

A reposição de nutrientes pode ser feita com diferentes fontes, como fertilizantes minerais, adubos orgânicos e práticas complementares de manejo. A adubação mineral permite fornecimento rápido e eficiente de nutrientes, em razão de sua elevada solubilidade e disponibilidade para as plantas; entretanto, seu uso deve considerar critérios como análise de solo e exigência nutricional da cultura, a fim de evitar desequilíbrios nutricionais e impactos ambientais (Cantarutti et al., 2007).

A utilização de adubação orgânica e de plantas de cobertura contribui para a reposição de nutrientes por meio da ciclagem no sistema de produção. Lima Filho et al. (2014) destacam que a adubação verde promove a incorporação de matéria orgânica ao solo, favorece a liberação gradual de nutrientes, melhora a estrutura do solo e aumenta a atividade biológica, fatores fundamentais para a manutenção da fertilidade.

Soares et al. (2024), avaliando a adubação nitrogenada com fertilizante organomineral em pastagem de *Uroclhoa brizantha* cv. Marandu, verificaram que o uso desse fertilizante proporcionou aumento na produção de matéria seca e melhoria em atributos relacionados à qualidade da forragem, embora com maior custo em relação a algumas fontes orgânicas.

Atualmente, a busca pela intensificação sustentável redefine o manejo de pastagens. O foco recai sobre a elevação da produtividade por unidade de área, reduzindo a necessidade de abertura de novas áreas produtivas. Essa transição exige manejo rigoroso da fertilidade do solo, planejamento forrageiro e adoção de sistemas produtivos mais integrados, capazes de conciliar ganho zootécnico, conservação dos recursos naturais e maior eficiência no uso do solo (Cordeiro et al., 2015).

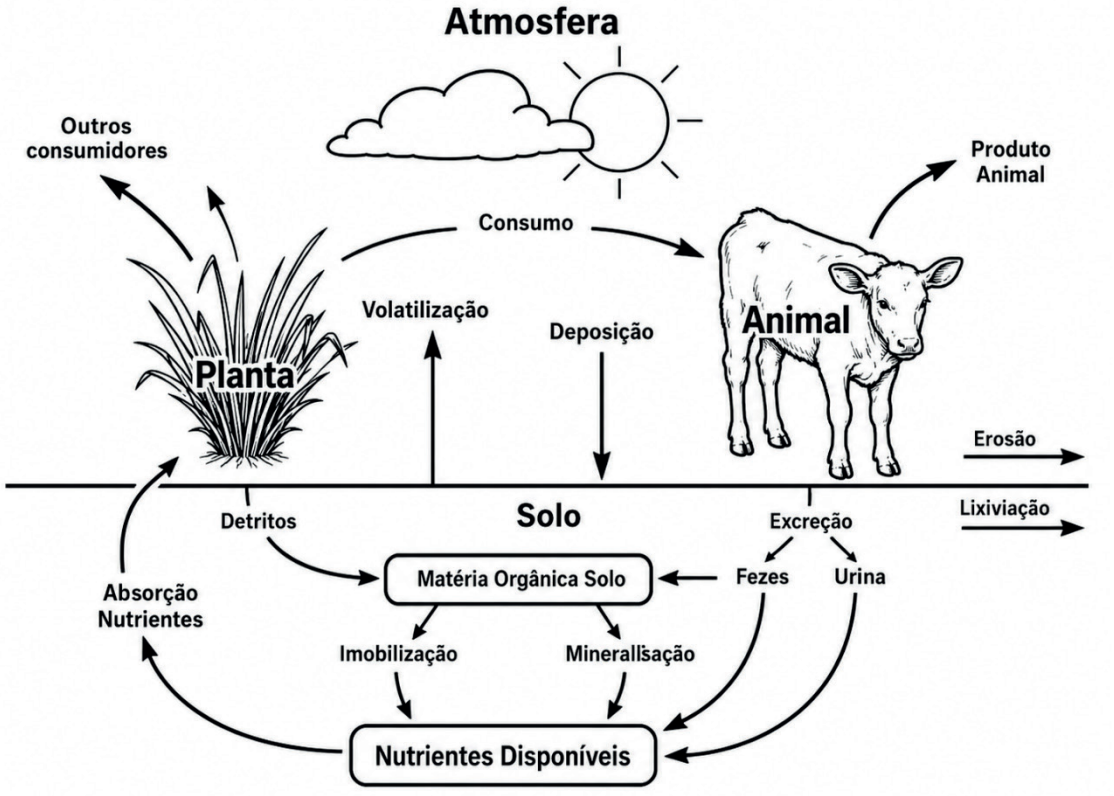
Este capítulo aborda a relação entre fertilidade do solo e desempenho das plantas forrageiras, destacando os efeitos da correção da acidez e da adubação sobre a produtividade e a qualidade da forragem. São discutidos métodos de diagnóstico da fertilidade, com ênfase na análise de solo como ferramenta para o planejamento nutricional, além de práticas como calagem, gessagem e manejo integrado da adubação. A abordagem enfatiza o uso eficiente de nutrientes, a viabilidade econômica e a sustentabilidade ambiental dos sistemas pecuários baseados em pastagens.

2 FERTILIDADE DO SOLO E SEUS EFEITOS NAS FORRAGEIRAS

Os sistemas pecuários de ruminantes têm como base a produção de forrageiras, especialmente em regiões de clima tropical, como o Brasil, onde a alimentação desses animais depende predominantemente do aproveitamento direto das pastagens. Nesse contexto, o desempenho das plantas forrageiras está intimamente condicionado às propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, as quais determinam não apenas a quantidade de biomassa produzida, mas também a qualidade nutricional da forragem ofertada aos animais. Dessa forma, a compreensão dos princípios que regem a nutrição mineral das forrageiras e sua relação com a fertilidade do solo constitui elemento central para o manejo sustentável das pastagens (Novais et al., 2007; Martha Júnior; Vilela; Sousa, 2007).

O funcionamento do sistema solo-planta-animal ocorre de maneira interdependente, de modo que modificações em qualquer um de seus componentes repercutem diretamente nos demais (Figura 1). O solo desempenha a função de suporte físico e de reservatório de água e nutrientes, criando as condições necessárias para o crescimento vegetal. As forrageiras, por meio da fotossíntese, transformam nutrientes minerais em matéria orgânica, disponibilizando energia e compostos essenciais à nutrição animal. Os animais, ao consumirem a forragem, devolvem parte dos nutrientes ao ambiente por meio das excretas, contribuindo para a ciclagem interna de elementos no sistema produtivo (Aragão et al., 2012).

Figura 1. Ilustração simplificada da relação solo, planta e animal.



Fonte: Adaptado de Salman (2007).

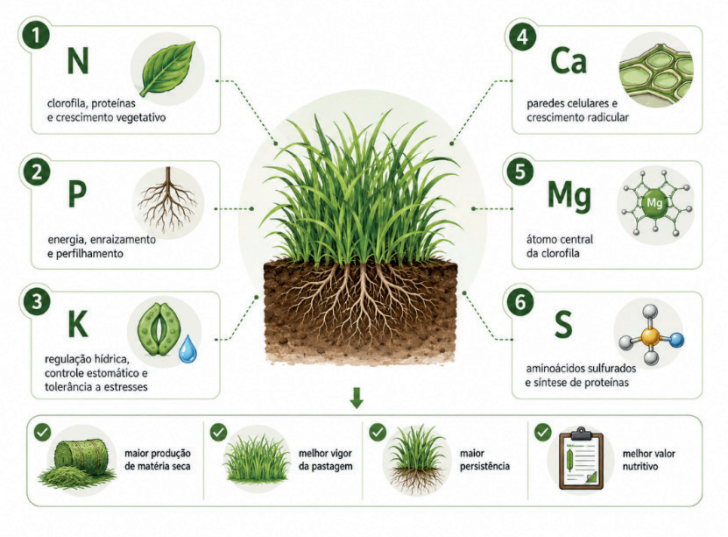
Em ambientes com solos de baixa fertilidade natural, ou com elevada acidez e baixa disponibilidade de nutrientes, a absorção pelas plantas torna-se limitada. Essa condição resulta em redução

da produção de matéria seca e empobrecimento do valor nutritivo da forragem, comprometendo o desempenho animal. Tal dinâmica evidencia a importância de estratégias integradas de manejo da fertilidade do solo para assegurar o equilíbrio e a eficiência do sistema solo-planta-animal (Araújo et al., 2012).

Os nutrientes exercem papéis específicos e indispensáveis nos processos fisiológicos das plantas forrageiras. Entre os macronutrientes primários, destacam-se o nitrogênio (N), o fósforo (P) e o potássio (K), diretamente relacionados ao crescimento, à formação de tecidos e ao funcionamento metabólico das plantas. O N é componente essencial de proteínas, aminoácidos, enzimas e da clorofila, sendo determinante para a atividade fotossintética e para o teor de proteína bruta da forragem. O P atua nos processos de transferência de energia, especialmente na forma de ATP, além de favorecer o desenvolvimento radicular e o perfilhamento. O K participa do controle osmótico, da regulação estomática e da resistência das plantas a estresses de origem biótica e abiótica (Malavolta, 2006).

A resposta produtiva das forrageiras depende do suprimento equilibrado dos nutrientes essenciais. Cada nutriente exerce funções fisiológicas específicas, que se refletem diretamente no crescimento vegetativo, no desenvolvimento radicular, no perfilhamento, na tolerância a estresses e no valor nutritivo da forragem. A Figura 2 sintetiza as principais funções dos macronutrientes mais associados ao desempenho produtivo das pastagens.

Figura 2. Principais funções dos macronutrientes no crescimento, na persistência e no valor nutritivo de plantas forrageiras.



Fonte: Elaboração própria com base em Malavolta (2006), Marschner (2012), Havlin et al. (2014) e Taiz et al. (2017).

Os macronutrientes secundários, representados por Ca, Mg e S, também desempenham funções vitais. O Ca está associado à estabilidade das paredes e membranas celulares, bem como ao crescimento das raízes. O Mg constitui o átomo central da molécula de clorofila, enquanto o S integra a estrutura de aminoácidos sulfurados e proteínas (Malavolta, 1992; Marschner, 2012).

Além dos macronutrientes, os micronutrientes, embora requeridos em menores quantidades, também são essenciais ao metabolismo vegetal, pois atuam em processos enzimáticos, fotossintéticos e fisiológicos. Quando deficientes, podem limitar o crescimento das plantas e reduzir a produtividade das pastagens (Malavolta, 2006).

A fertilidade do solo exerce influência decisiva tanto no estabelecimento inicial das forrageiras quanto na manutenção da produtividade das pastagens ao longo do tempo. Solos adequadamente nutridos favorecem o rápido crescimento radicular, o perfilhamento e a formação de cobertura vegetal densa, o que reduz a competição com plantas invasoras. Em contraste, áreas com solos empobrecidos ou mal corrigidos tendem a apresentar forrageiras menos vigorosas, aumentando a suscetibilidade à degradação das pastagens (Brady; Weil, 2013).

A persistência das pastagens está relacionada à capacidade das plantas em suportar o pastejo sem perda significativa de produtividade. Nesse contexto, a adubação de manutenção assume papel fundamental, uma vez que repõe os nutrientes exportados pela produção de forragem e contribui para preservar a fertilidade do solo ao longo do tempo. A ausência de práticas adequadas de reposição nutricional pode resultar em queda de produtividade, alteração da composição botânica e degradação progressiva do sistema produtivo (Cantarutti et al., 2007; Martha Júnior; Vilela; Sousa, 2007).

A eficiência no uso de nutrientes diz respeito à capacidade das plantas em absorver, transportar e transformar os nutrientes disponíveis no solo em biomassa vegetal. Essa eficiência é influenciada por características genéticas das espécies forrageiras, pelas condições edafoclimáticas e pelas práticas de manejo do solo e da adubação. Forrageiras adaptadas a ambientes de baixa fertilidade podem apresentar maior eficiência nutricional, mas respondem de forma significativa à correção do solo e à adubação quando essas práticas são conduzidas de maneira equilibrada (Martha Júnior; Vilela; Sousa, 2007).

A adoção de um manejo criterioso da fertilidade do solo, aliado à escolha adequada de espécies forrageiras e à definição do sistema de pastejo, possibilita a maximização da produção forrageira e a minimização das perdas de nutrientes para o ambiente. Assim, o uso eficiente dos nutrientes não apenas eleva a produção de matéria seca e a qualidade da forragem, mas também contribui para a sustentabilidade econômica e ambiental dos sistemas de produção animal (Cantarutti et al., 2007; Martha Júnior; Vilela; Sousa, 2007).

Os princípios da nutrição de plantas forrageiras estão diretamente associados à fertilidade do solo e ao equilíbrio do sistema solo-planta-animal. A adequada oferta de nutrientes, a correção da acidez e o manejo eficiente da fertilidade constituem fatores determinantes para o estabelecimento, a longevidade e a produtividade das pastagens. Dessa maneira, práticas fundamentadas na nutrição mineral e no uso eficiente de corretivos e fertilizantes são indispensáveis para o desenvolvimento de sistemas pecuários mais produtivos e sustentáveis (Malavolta, 2006; Martha Júnior; Vilela; Sousa, 2007).

3 DIAGNÓSTICOS DA FERTILIDADE: ANÁLISE DE SOLO COMO FERRAMENTA DE PRECISÃO

A avaliação da fertilidade do solo por meio de análises laboratoriais constitui um instrumento fundamental para o planejamento e a condução eficiente dos sistemas agropecuários, com destaque para áreas destinadas à produção de forragens. Nesses sistemas, o desempenho produtivo está intimamente associado à capacidade do solo em suprir, de forma equilibrada, os nutrientes requeridos pelas plantas forrageiras. Assim, a compreensão dos atributos químicos, físicos e, quando pertinente,

biológicos do solo torna-se indispensável para embasar decisões técnicas consistentes e assertivas (Malavolta, 1992; Novais et al., 2007; Donagemma et al., 2011).

A análise de solo viabiliza a identificação de restrições ou carências nutricionais, orienta a adoção de medidas corretivas adequadas e favorece o uso racional de insumos, contribuindo simultaneamente para a eficiência produtiva e a conservação ambiental (Doran; Parkin, 1994).

No manejo de áreas com gramíneas forrageiras, a análise de solo assume caráter estratégico ao subsidiar práticas voltadas à correção da acidez, à reposição de nutrientes extraídos e à manutenção da fertilidade ao longo do tempo. Pastagens conduzidas sem acompanhamento sistemático tendem a apresentar processos graduais de degradação, expressos pela redução da cobertura vegetal, diminuição da produção de forragem e intensificação de problemas físicos, como compactação e erosão do solo (Malavolta, 1992; Cantarutti et al., 2007; Dias-Filho, 2017).

A realização periódica de análises permite detectar desequilíbrios nutricionais em estágios iniciais, antes do aparecimento de sintomas visuais, possibilitando intervenções preventivas com menor custo e maior eficiência econômica (Cantarutti et al., 2007; Donagemma et al., 2011).

O diagnóstico da fertilidade do solo fornece informações essenciais para ajustar a taxa de lotação animal, estimar a capacidade de produção de forragem, selecionar espécies forrageiras compatíveis com as condições edáficas locais e planejar as adubações de manutenção. Dessa maneira, a análise de solo contribui para prolongar a vida útil das pastagens, elevar o desempenho zootécnico dos animais e minimizar impactos ambientais decorrentes do uso inadequado de fertilizantes e corretivos (Cantarutti et al., 2007; Valentim, 2014).

A precisão e a confiabilidade dos resultados obtidos dependem diretamente da correta execução de todo o processo, desde a amostragem, que deve representar fielmente a área avaliada, até a interpretação dos resultados e a recomendação de manejo (Malavolta, 1992; Novais et al., 2007; Donagemma et al., 2011).

Em ambientes de pastagem, recomenda-se a subdivisão da área em unidades homogêneas, levando em consideração aspectos como tipo de solo, relevo, histórico de manejo, espécie forrageira implantada e grau de degradação. Cada uma dessas unidades deve ser amostrada de maneira independente, garantindo maior representatividade dos resultados (Donagemma et al., 2011; Valentim, 2014).

A coleta das amostras é, em geral, realizada na camada superficial de 0 a 20 cm, correspondente à zona de maior concentração radicular das forrageiras e mais influenciada pelas práticas de manejo. Em situações específicas, como na avaliação da necessidade de gessagem, pode-se estender a amostragem para camadas mais profundas. Recomenda-se a retirada de 15 a 20 subamostras distribuídas aleatoriamente em cada unidade homogênea, evitando pontos atípicos, como proximidades de cochos, bebedouros, trilhas de animais e áreas sombreadas. Após a coleta, as subamostras devem ser homogeneizadas para formar uma amostra composta, devidamente identificada e encaminhada ao laboratório para análise (Donagemma et al., 2011).

A qualidade da recomendação de correção e adubação depende diretamente da representatividade da amostragem e da correta interpretação dos resultados laboratoriais. Em áreas de pastagem, a divisão da área em unidades homogêneas, a coleta adequada das subamostras e a formação da amostra composta constituem etapas fundamentais para reduzir erros no diagnóstico da fertilidade. O fluxo geral desse processo está apresentado na Figura 3.

Figura 3. Etapas do diagnóstico da fertilidade do solo em áreas de pastagem, desde a definição das unidades homogêneas até a recomendação de manejo.



Fonte: Elaboração própria com base em Malavolta (1992), Novais et al. (2007), Cantarutti et al. (2007), Donagemma et al. (2011) e Valentim (2014).

A frequência das análises varia conforme o sistema de manejo adotado, sendo usual a recomendação de reavaliações a cada dois ou três anos em pastagens já estabelecidas, além da realização prévia à implantação ou à renovação das áreas (Novais et al., 2007; Cantarutti et al., 2007; Valentim, 2014).

A interpretação dos resultados baseia-se na comparação dos atributos químicos e físicos do solo com valores de referência definidos para diferentes classes de fertilidade. Indicadores como pH, capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases (V%), matéria orgânica e teores de P, K, Ca, Mg e Al^{3+} são determinantes para a caracterização do estado nutricional do solo. Esses atributos são geralmente classificados em faixas que variam de muito baixas a muito altas, permitindo estimar o nível de suprimento de nutrientes às plantas (Novais et al., 2007; Cantarutti et al., 2007; Donagemma et al., 2011).

Em áreas de pastagem, é comum a ocorrência de solos com pH ácido e baixa saturação por bases, especialmente em regiões do Cerrado, condições que restringem o crescimento radicular e a absorção eficiente de nutrientes. A análise criteriosa desses resultados possibilita a definição de estratégias de correção e adubação mais assertivas às necessidades do sistema, prevenindo tanto deficiências quanto excessos nutricionais (Melo et al., 2017).

A determinação da dose de calcário deve ser realizada com base na análise de solo e em critérios técnicos de recomendação, como a elevação da saturação por bases, considerando as exigências das espécies forrageiras, o sistema de manejo empregado e as condições químicas do solo (Sousa; Lobato, 2004). O cálculo da dose de calcário pode ser realizado pelo método da saturação por bases, que busca elevar o percentual de bases trocáveis a níveis adequados ao desenvolvimento das culturas, conforme descrito por Quaggio, Raij e Malavolta (1985).

A gessagem, por sua vez, é indicada principalmente para aprimorar as condições químicas das camadas subsuperficiais, promovendo o fornecimento de Ca em profundidade e a atenuação da toxidez por alumínio nessas regiões do perfil do solo. Sua recomendação deve considerar os resultados da análise química das camadas subsuperficiais, especialmente os teores de Ca e Al, a saturação por alumínio e a textura do solo (Sousa; Lobato, 2004; Ritchey et al., 1980).

A análise de solo consolida-se como ferramenta indispensável ao diagnóstico da fertilidade e ao manejo sustentável de áreas de pastagem. Quando executada e interpretada de maneira adequada, permite identificar limitações químicas do solo, orientar a aplicação de corretivos e fertilizantes e favorecer o uso racional de insumos, contribuindo para maior eficiência produtiva e ambiental do sistema (Cantarutti et al., 2007; Donagemma et al., 2011).

4 CORREÇÃO DO SOLO

Nesse contexto, as condições químicas e físicas do solo influenciam diretamente o desenvolvimento vegetal e, por consequência, o desempenho e a rentabilidade dos sistemas pecuários, uma vez que comprometem a produtividade e a persistência das forrageiras ao longo do tempo (Francisco; Bonfim-Silva; Teixeira, 2017; Dias-Filho, 2017).

Em solos ácidos e altamente intemperizados, a disponibilidade de P pode ser severamente reduzida pela adsorção e precipitação com óxidos de Fe e Al, o que limita o estabelecimento inicial e a produtividade das pastagens (Novais; Smyth, 1999).

A calagem promove elevação do pH do solo para faixas consideradas adequadas ao desenvolvimento das forrageiras tropicais, geralmente entre 5,5 e 6,0. Esse ajuste reduz a atividade do Al e aumenta a disponibilidade de Ca^{2+} e Mg^{2+}, contribuindo para melhores condições químicas ao crescimento das plantas (Carvalho et al., 2017; Raij, 1991).

O cálculo da dose de calcário é um fator determinante para o sucesso da correção da acidez do solo, sendo amplamente utilizado no Brasil o método da saturação por bases, que busca elevar o percentual de bases trocáveis a níveis adequados ao desenvolvimento das culturas, conforme descrito por Quaggio, Raij e Malavolta (1985). Nesse contexto, a saturação por bases (V%) destaca-se como um dos principais indicadores para a recomendação de calagem em pastagens, sendo comumente indicados valores entre 50 e 60%, os quais estão associados a aumentos significativos na produção de matéria seca (Lopes; Guilherme, 2007).

O equilíbrio entre Ca e Mg no solo também apresenta relevância quantitativa. Relações próximas de 3:1 são frequentemente consideradas adequadas para muitas forrageiras, embora a interpre-

tação deva considerar a espécie, o teor absoluto desses nutrientes e as demais condições químicas do solo. Relações muito desequilibradas podem reduzir a absorção de K e comprometer o desenvolvimento radicular, mesmo em solos com pH corrigido (Guimarães Júnior et al., 2013).

A calagem constitui uma das principais práticas de manejo da acidez do solo, porém sua atuação ocorre, predominantemente, na camada superficial, em razão da baixa solubilidade e da limitada mobilidade do calcário ao longo do perfil. Como consequência, as camadas subsuperficiais podem permanecer com elevadas concentrações de Al, mantendo condições químicas desfavoráveis ao crescimento vegetal (Cabral et al., 2021; Caires et al., 2006).

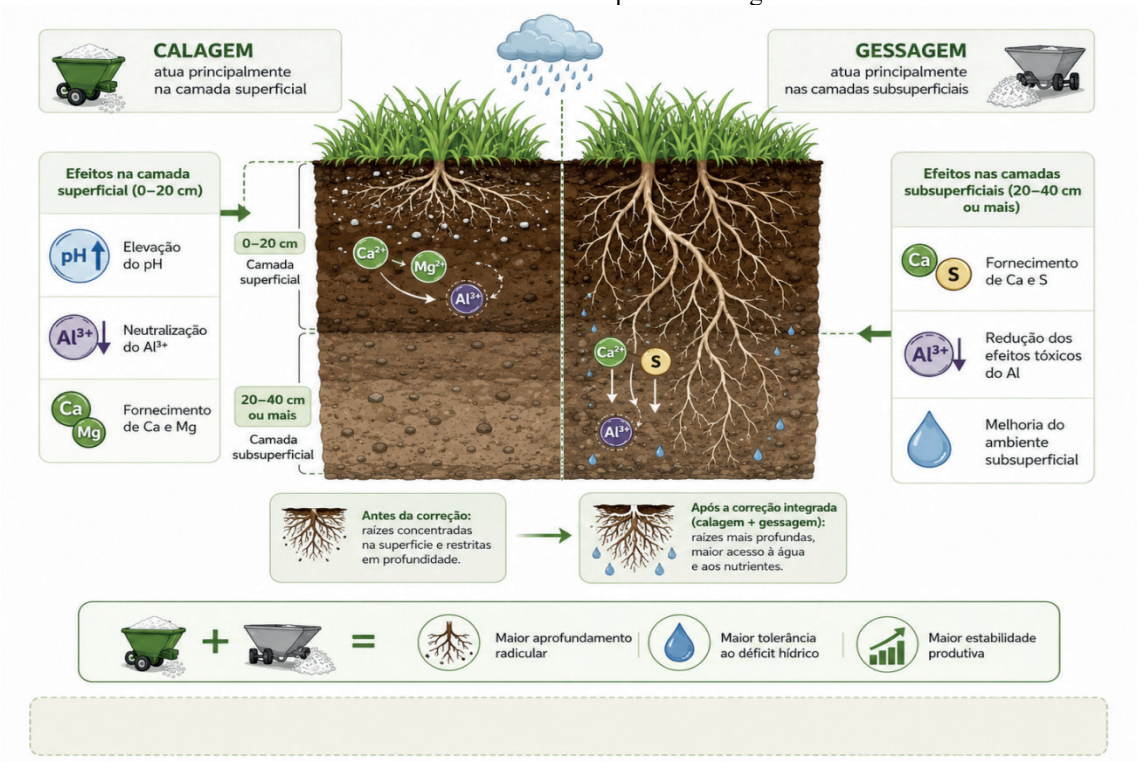
Além da elevação da saturação por bases, a distribuição de Ca e Mg no perfil do solo influencia diretamente o desenvolvimento das forrageiras. Estudos demonstram que a aplicação de corretivos promove aumento dos teores desses cátions nas camadas superficiais, alterando positivamente a dinâmica de absorção radicular e a eficiência nutricional das plantas (Antonangelo et al., 2022).

De acordo com Caires et al. (2011), a melhoria das condições químicas do subsolo favorece maior exploração do perfil pelas raízes, ampliando o acesso das plantas à água e aos nutrientes em camadas mais profundas. Em sistemas forrageiros, esse efeito assume grande importância, pois contribui para maior resiliência das plantas em períodos de déficit hídrico.

Em pastagens de *Urochloa brizantha* estabelecidas em Latossolo Vermelho distrófico do Cerrado, Backes et al. (2017) verificaram que a aplicação de gesso agrícola associada à adubação mineral promoveu melhoria do ambiente químico do subsolo, com incremento dos teores de Ca e S em profundidade, maior desenvolvimento radicular e aumento da produtividade da forragem. De forma complementar, estudos sobre o uso de gesso agrícola em solos ácidos demonstram que essa prática favorece a movimentação de Ca no perfil do solo, reduz os efeitos tóxicos do Al em subsuperfície e amplia o volume de solo explorado pelas raízes, contribuindo para maior acesso das plantas à água e aos nutrientes em camadas mais profundas. Assim, a integração entre calagem e gessagem deve ser compreendida como estratégia complementar: a calagem atua principalmente na correção da acidez da camada superficial, enquanto o gesso agrícola melhora as condições químicas da subsuperfície, favorecendo o aprofundamento radicular, a tolerância das forrageiras ao déficit hídrico e a maior estabilidade produtiva do sistema de pastagem (Ritchey et al., 1980; Sousa; Lobato; Rein, 2005; Backes et al., 2017).

A calagem e a gessagem exercem efeitos complementares no perfil do solo. Enquanto a calagem promove a correção da acidez, elevação do pH e fornecimento de Ca e Mg principalmente na camada superficial, o gesso agrícola favorece o fornecimento de Ca e S em profundidade, contribuindo para a redução dos efeitos tóxicos do alumínio no subsolo. Essa ação integrada favorece o aprofundamento do sistema radicular, melhora o aproveitamento de água e nutrientes e aumenta a estabilidade produtiva das pastagens, conforme ilustrado na Figura 4.

Figura 4. Representação esquemática dos efeitos complementares da calagem e da gessagem no perfil do solo e no desenvolvimento radicular de plantas forrageiras.



Fonte: Elaboração própria com base em Raij (1991), Sousa e Lobato (2004), Caires et al. (2006; 2011), Sousa, Lobato e Rein (2005), Backes et al. (2017) e Antonangelo et al. (2022).

A incorporação do calcário na fase de implantação também contribui para o aprofundamento do sistema radicular das plantas forrageiras, permitindo melhor aproveitamento de água e nutrientes ao longo do perfil do solo. Esse efeito possui elevada importância em regiões tropicais sujeitas a períodos de déficit hídrico, uma vez que sistemas radiculares mais profundos aumentam a tolerância das forrageiras ao estresse hídrico e favorecem maior persistência das pastagens (Caires et al., 2011).

Na implantação, a calagem apresenta maior eficiência operacional e agronômica, pois permite a incorporação do calcário antes da semeadura ou do estabelecimento da forrageira (Lopes; Guilherme, 2007; Raij, 1991).

Além disso, a aplicação antecipada do calcário é essencial devido à sua baixa solubilidade e ao tempo necessário para ocorrência das reações químicas no solo. Em geral, recomenda-se que a calagem seja realizada entre 60 e 90 dias antes da implantação da pastagem, possibilitando tempo suficiente para reação do corretivo e estabilização parcial das condições químicas do solo (Sousa; Lobato, 2004).

Em contrapartida, em pastagens já estabelecidas, a correção da acidez normalmente é realizada em cobertura, sem revolvimento do solo. Nessa condição, devido à baixa mobilidade do calcário, os efeitos da calagem tendem a permanecer concentrados nas camadas superficiais, limitando a correção química em profundidade (Caires et al., 2006). Estudos demonstram que aplicações superficiais promovem maior acúmulo de Ca e elevação do pH principalmente nos primeiros centímetros do solo, enquanto as camadas subsuperficiais podem permanecer com elevadas concentrações de Al^{3+} (Antonangelo et al., 2022).

Dessa forma, a correção do solo deve ser compreendida como uma prática contínua e planejada, baseada em análises químicas periódicas e ajustada às características do sistema produtivo. A realização adequada da calagem ainda na implantação da pastagem representa uma das estratégias mais eficientes para garantir elevada produtividade, persistência das forrageiras e sustentabilidade dos sistemas pecuários ao longo do tempo.

5 ADUBAÇÃO PARA IMPLANTAÇÃO

Durante a fase inicial de implantação, a adubação tem como principal objetivo suprir as demandas nutricionais das plantas forrageiras nos estágios iniciais de crescimento, favorecendo o rápido estabelecimento da pastagem, o desenvolvimento do sistema radicular e a formação homogênea da cobertura vegetal. O fornecimento equilibrado de nutrientes nesse período estimula o perfilhamento, o acúmulo de matéria seca e a maior capacidade competitiva das forrageiras em relação às plantas invasoras, reduzindo falhas no estabelecimento do pasto (Martha Júnior; Vilela; Sousa, 2007).

O K está diretamente relacionado à regulação osmótica, ao controle estomático e ao equilíbrio hídrico das plantas, influenciando a tolerância das forrageiras ao estresse hídrico e a persistência da pastagem. Esse nutriente pode ser aplicado tanto incorporado ao solo quanto em cobertura, conforme as características edáficas e o manejo adotado (Malavolta, 2006; Havlin et al., 2014). Já o N, embora essencial para o crescimento vegetativo e para a produção de biomassa, apresenta maior suscetibilidade a perdas, especialmente na forma nítrica, razão pela qual sua aplicação normalmente é realizada após o estabelecimento inicial da pastagem, por meio de adubações de cobertura. Em solos com fertilidade muito baixa, entretanto, pequenas aplicações iniciais de N podem ser utilizadas para estimular o desenvolvimento das forrageiras (Martha Júnior; Vilela; Sousa, 2007).

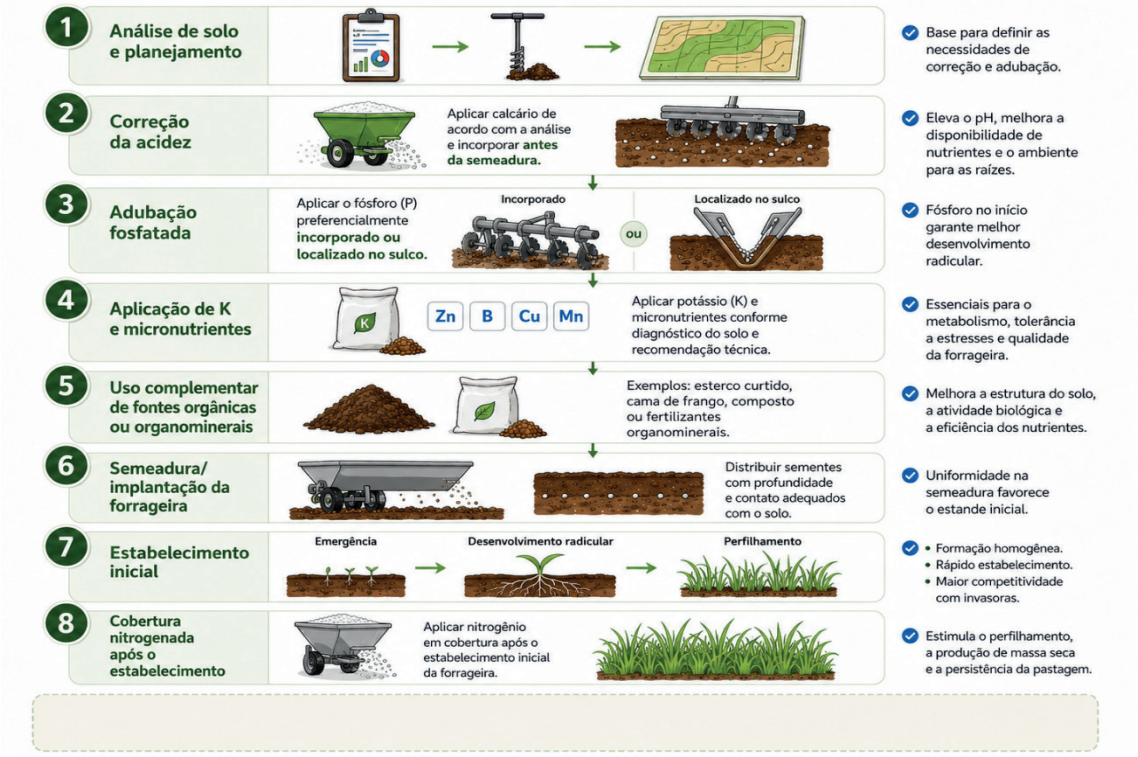
Para o suprimento de P, podem ser utilizados fertilizantes fosfatados de maior solubilidade, como superfosfato simples, superfosfato triplo e fosfatos amoniados, além de fosfatos naturais reativos, cuja eficiência depende das características do solo, da fonte utilizada, da forma de aplicação e da exigência da espécie forrageira. Em solos tropicais altamente intemperizados, a adubação fosfatada assume papel estratégico na implantação das pastagens, devido à baixa disponibilidade natural de P e à elevada capacidade de adsorção desse nutriente pelos óxidos de ferro e alumínio presentes no solo (Sousa; Lobato; Rein, 2004; Novais; Smyth, 1999). O K, por sua vez, é normalmente fornecido por meio do cloreto de potássio, devido à sua elevada solubilidade e rápida disponibilização às plantas. Os micronutrientes podem ser aplicados por meio de fertilizantes formulados, misturas minerais ou diretamente no solo, conforme as deficiências identificadas na análise química. Embora sejam requeridos em menores quantidades, elementos como boro, cobre, manganês, zinco, ferro e molibdênio participam de processos fisiológicos essenciais, atuando em reações enzimáticas, fotossíntese, metabolismo do N e síntese de compostos orgânicos. Assim, sua aplicação deve ser orientada por diagnóstico técnico, evitando tanto deficiências quanto aplicações desnecessárias (Malavolta, 2006; Cantarutti et al., 2007).

A adubação na implantação pode ser realizada a lanço, seguida de incorporação, ou de forma localizada no sulco de plantio, especialmente quando se trata da aplicação de P. Em solos tropicais altamente intemperizados, a aplicação localizada de fertilizantes fosfatados pode aumentar a eficiên-

cia de uso do nutriente, reduzindo o contato do P com os coloides do solo e favorecendo sua disponibilidade às plantas no estágio inicial de desenvolvimento. A definição do método de aplicação deve considerar o teor de P no solo, a textura, a fonte utilizada, a espécie forrageira e o sistema de preparo da área (Sousa; Lobato; Rein, 2004).

A implantação de pastagens exige uma sequência técnica planejada, iniciando pelo diagnóstico da fertilidade e pela correção da acidez, seguida da adubação de formação e da semeadura adequada da forrageira. Nessa fase, o fósforo apresenta papel estratégico, por favorecer o desenvolvimento radicular e o estabelecimento inicial das plantas, enquanto o potássio, os micronutrientes e as fontes orgânicas ou organominerais podem complementar o suprimento nutricional conforme o diagnóstico do solo. A Figura 5 apresenta, de forma integrada, as principais etapas do manejo de fertilidade na implantação de pastagens.

Figura 5. Sequência técnica recomendada para correção do solo, adubação e estabelecimento inicial de pastagens.



Fonte: Elaboração própria com base em Malavolta (2006), Martha Júnior, Vilela e Sousa (2007), Cantarutti et al. (2007), Sousa, Lobato e Rein (2004), Havlin et al. (2014), Cabral et al. (2021), Carvalho et al. (2016) e Tomazello et al. (2023).

O P exerce papel fundamental na expansão do sistema radicular, no vigor inicial das plantas e nos processos de transferência de energia relacionados ao metabolismo vegetal. Devido à sua baixa mobilidade no solo, recomenda-se que esse nutriente seja incorporado antes ou durante o plantio, visando aumentar sua eficiência de absorção pelas plantas. Além disso, a ausência de adubação fosfatada na implantação pode comprometer não apenas o crescimento inicial das forrageiras, mas também a capacidade de rebrota e recuperação produtiva da pastagem nos ciclos posteriores (Cabral et al., 2021).

A cama de frango destaca-se entre as principais fontes orgânicas utilizadas em sistemas pecuários devido à elevada concentração de nutrientes, especialmente N e P, além da ampla disponibilidade

em regiões de produção intensiva de aves. Estudos demonstram que sua utilização na implantação de pastagens pode promover incrementos significativos na produção de matéria seca e no estabelecimento das gramíneas forrageiras, podendo reduzir parcialmente a necessidade de fertilizantes minerais (Tomazello et al., 2023). Carvalho et al. (2016), avaliando diferentes formas de aplicação de cama de frango em pastagem de Tifton 85, observaram aumento da produtividade e melhor desenvolvimento das plantas, principalmente quando o material foi incorporado ao solo durante a implantação da área.

Além das fontes minerais convencionais, a utilização de fertilizantes orgânicos e organominerais na implantação de pastagens tem recebido maior atenção em sistemas de produção mais sustentáveis, principalmente pela capacidade desses materiais em fornecer nutrientes gradualmente, aumentar os teores de matéria orgânica e melhorar atributos químicos, físicos e biológicos do solo (Malavolta, 2006; Novais et al., 2007). Entre as principais fontes utilizadas destacam-se esterco bovino, cama de frango, compostos orgânicos e resíduos agroindustriais, os quais podem contribuir para o fornecimento de N, P, K, Ca, Mg e micronutrientes. Além do aporte nutricional, essas fontes favorecem o aumento da capacidade de troca catiônica (CTC), a agregação do solo e a atividade microbiológica, criando condições mais favoráveis ao desenvolvimento das forrageiras (Aita; Giacomini, 2003; Novais et al., 2007).

Entretanto, o uso de fontes orgânicas na implantação das pastagens deve ser realizado com planejamento técnico, considerando características químicas do material, relação carbono:nitrogênio, taxa de mineralização e exigência nutricional da forrageira. Aplicações excessivas ou desbalanceadas podem promover acúmulo de nutrientes no solo, especialmente P, aumentando riscos de perdas ambientais e desequilíbrios nutricionais (Aita; Giacomini, 2003).

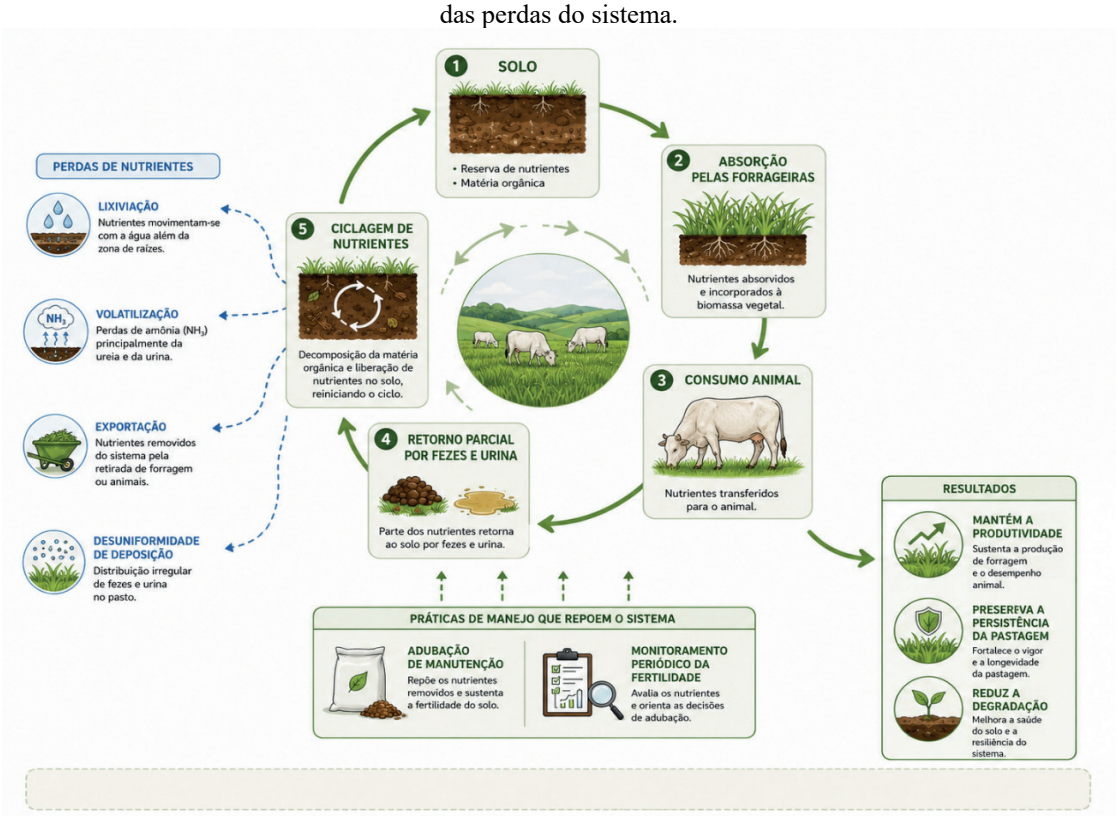
Dessa forma, a integração entre fertilizantes minerais, fontes orgânicas e organominerais constitui uma estratégia importante para formação de pastagens mais produtivas e sustentáveis, favorecendo a melhoria gradual da fertilidade do solo, maior eficiência no uso dos nutrientes e redução da dependência exclusiva de fertilizantes minerais convencionais.

6 ADUBAÇÃO PARA MANUTENÇÃO

A adubação de manutenção é essencial para preservar a produtividade e a persistência das pastagens ao longo do tempo, uma vez que os nutrientes absorvidos pelas forrageiras são continuamente removidos do sistema pelo consumo animal, perdas por lixiviação e exportação de nutrientes. Quando essa reposição não é realizada adequadamente, ocorre redução gradual da fertilidade do solo, comprometendo o vigor das plantas e favorecendo processos de degradação das áreas de pastagem (Cantarutti et al., 2007).

Em pastagens sob pastejo, parte dos nutrientes consumidos pelos animais retorna ao solo por meio das fezes e da urina, promovendo ciclagem interna no sistema. Entretanto, esse retorno é parcial e desuniforme, pois há perdas por lixiviação, volatilização, exportação de forragem ou animais e concentração de excretas em áreas específicas, como cochos, bebedouros e locais de descanso. Dessa forma, a adubação de manutenção e o monitoramento periódico da fertilidade são indispensáveis para preservar a produtividade, a persistência das pastagens e a sustentabilidade do sistema, conforme representado na Figura 6.

Figura 6. Ciclagem de nutrientes em pastagens sob pastejo e importância da adubação de manutenção para reposição das perdas do sistema.



Fonte: Elaboração própria com base em Aita e Giacomini (2003), Cantarutti et al. (2007), Novais et al. (2007), Monteiro (2007), Havlin et al. (2014), Rosado e Gontijo (2017), Cabral et al. (2021) e Tomazello et al. (2023).

A reposição periódica de nutrientes apresenta menor custo e maior eficiência quando comparada à recuperação de áreas degradadas, tornando-se uma estratégia importante para manutenção da capacidade produtiva do sistema. Entre os nutrientes mais exigidos pelas gramíneas forrageiras destacam-se N, P e K, diretamente relacionados ao crescimento vegetal, perfilhamento, produção de biomassa e qualidade da forragem (Rosado; Gontijo, 2017; Cabral et al., 2021).

Com o tempo, a intensificação do uso das pastagens e a aplicação frequente de fertilizantes nitrogenados podem promover acidificação gradual do solo. Além disso, a decomposição da matéria orgânica e a extração contínua de nutrientes contribuem para redução do pH e aumento da concentração de alumínio tóxico no perfil do solo (Novais et al., 2007). Dessa forma, o monitoramento periódico da fertilidade torna-se indispensável para definição de estratégias adequadas de correção e reposição nutricional.

Em pastagens já estabelecidas, a correção da acidez normalmente é realizada de forma superficial, sem incorporação do corretivo. Entretanto, devido à baixa mobilidade do calcário no perfil do solo, os efeitos da calagem tendem a permanecer concentrados nas camadas superficiais, limitando a correção química em profundidade (Caires et al., 2006; Raij, 1991).

Além da adubação mineral, fontes orgânicas também podem ser utilizadas na manutenção das pastagens, destacando-se esterco bovino, cama de frango, compostos orgânicos e resíduos agroindustriais. Esses materiais contribuem para o fornecimento gradual de nutrientes, aumento da matéria orgânica e melhoria das propriedades físicas e biológicas do solo (Aita; Giacomini, 2003).

A cama de frango apresenta elevado potencial de utilização em sistemas forrageiros devido

às altas concentrações de N, P e K. Estudos demonstram que sua utilização promove aumento da produção de matéria seca e melhoria do perfilhamento das gramíneas, podendo reduzir parcialmente a dependência de fertilizantes minerais (Tomazello et al., 2023).

Dessa forma, a adubação de manutenção deve ser conduzida de maneira planejada, com base em análises periódicas do solo e nas exigências nutricionais das forrageiras, garantindo maior longevidade das pastagens e sustentabilidade dos sistemas de produção animal.

7 MANEJO DA FERTILIDADE INTEGRADO À INTENSIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO

A articulação entre práticas de manejo da fertilidade e estratégias de intensificação sustentável possibilita o aumento da produção por unidade de área, a redução da pressão por expansão territorial e o uso mais eficiente dos recursos produtivos. Nesse contexto, sistemas como a integração lavoura-pecuária e a integração lavoura-pecuária-floresta constituem alternativas importantes para intensificar o uso do solo de forma produtiva e ambientalmente mais equilibrada (Cordeiro et al., 2015).

A intensificação sustentável de pastagens pode ser compreendida como a elevação da produtividade vegetal e animal por área, aliada à preservação ou melhoria dos serviços ecossistêmicos e à minimização de efeitos ambientais adversos (Cordeiro et al., 2015; Melo et al., 2017).

O avanço das tecnologias aplicadas à agricultura tem ampliado as possibilidades de manejo integrado da fertilidade em sistemas de pastagens intensificados. O uso de ferramentas como agricultura de precisão, sensores remotos, sistemas de informação geográfica, veículos aéreos não tripulados e softwares de apoio à decisão permite diagnósticos mais detalhados da variabilidade espacial dos solos e da vegetação forrageira, favorecendo aplicações mais racionais de corretivos e fertilizantes (D'Oliveira et al., 2023).

Em sistemas integrados e alternativos de produção, como integração lavoura-pecuária-floresta e consórcios com leguminosas, o manejo da fertilidade precisa considerar não apenas a resposta da forrageira, mas também a ciclagem de nutrientes entre os componentes do sistema. A presença de árvores, culturas anuais ou leguminosas podem alterar a deposição de resíduos, o sombreamento, a umidade do solo e a distribuição das raízes, exigindo acompanhamento mais detalhado da fertilidade para evitar limitações localizadas e manter a produtividade do pasto (Cordeiro et al., 2015).

As plataformas digitais, os sistemas de informação geográfica, os sensores remotos e os softwares de apoio à decisão têm sido empregados para integrar informações relacionadas ao solo, às plantas e ao manejo das pastagens, permitindo o monitoramento da variabilidade espacial, do vigor da vegetação e da aplicação mais eficiente de corretivos e fertilizantes. A incorporação dessas tecnologias favorece a tomada de decisão mais precisa e o uso racional dos insumos em sistemas de pastagens (D'Oliveira et al., 2023).

8 ADUBAÇÃO PARA ALTA PRODUTIVIDADE FORRAGEIRA

Em gramíneas tropicais sob intensificação, a produtividade está diretamente ligada ao manejo de fertilidade e adubação, pois melhorias químicas no solo tendem a refletir em ganhos consistentes de rendimento. Em meta-análise, emendas/corretivos elevaram pH em 13% e a produtividade em 36% em média, indicando o potencial de resposta quando limitações químicas e nutricionais são corrigidas (Enesi et al., 2023).

As exigências nutricionais das forrageiras variam de acordo com a espécie, a cultivar e o potencial produtivo. Gramíneas tropicais de alto desempenho, como cultivares dos gêneros Megathyrsus, Urochloa, Cenchrus e Cynodon, apresentam elevada capacidade de produção de biomassa quando cultivadas em condições adequadas de fertilidade, disponibilidade hídrica e manejo. Por essa razão, a reposição equilibrada de nutrientes é essencial para sustentar altos níveis de produção de matéria seca, manter a qualidade bromatológica da forragem e evitar o esgotamento progressivo da fertilidade do solo. Em estudo com gramíneas forrageiras cultivadas em solos calcários, Combatt Caballero, Paterinina Durango e Perez Polo (2026) observaram que a adubação fosfatada influenciou a produção de biomassa e a composição bromatológica das plantas, reforçando que a resposta produtiva das forrageiras depende da espécie, das condições químicas do solo e do manejo nutricional adotado.

As diferentes espécies forrageiras apresentam exigências nutricionais distintas, diretamente relacionadas ao seu potencial produtivo e à capacidade de resposta à adubação. Gramíneas tropicais de elevado potencial de produção demandam maior disponibilidade de nutrientes no solo, especialmente N, P e K, para expressarem adequadamente seu desempenho produtivo (Quadro 1).

Quadro 1. Exigência nutricional das principais forrageiras.

Espécie forrageira	**Exigência em fertilidade**	**Resposta ao N**	**Resposta ao P**	**Produção potencial de MS (t ha^{-1} ano^{-1})**
Uroclhoa brizantha cv. Marandu	Média	Alta	Média	10–18
Megathyrsus maximus cv. Mombaça	Alta	Muito alta	Alta	20–35
Megathyrsus maximus cv. Zuri	Alta	Muito alta	Alta	18–30
Panicum maximum cv. Tanzânia	Alta	Muito alta	Alta	18–28
Cenchrus purpureus (Capim-elefante)	Muito alta	Extremamente alta	Alta	25–40
Cynodon spp. (Tifton 85)	Alta	Muito alta	Média/Alta	15–25

Fonte: Elaboração própria com base em Malavolta (2006), Monteiro (2007), Havlin et al. (2014), Reis et al. (2022) e Combatt Caballero, Paterinina Durango e Perez Polo (2026).

Na adubação fosfatada, a estratégia deve considerar o tipo de solo, a disponibilidade inicial de P, a capacidade de adsorção ou precipitação desse nutriente e a exigência da espécie forrageira. Em estudo conduzido em solos calcários da Colômbia, Combatt Caballero, Paterinina Durango e Perez Polo (2026) avaliaram doses de 0, 80, 150, 250, 400 e 650 kg ha^{-1} de P_2O_5 em gramíneas forrageiras e observaram resposta produtiva mais expressiva em doses superiores a 400 kg ha^{-1} de P_2O_5. Os autores estimaram que doses entre 449,4 e 554,9 kg ha^{-1} de P_2O_5 foram necessárias para alcançar altos rendimentos de biomassa nas condições avaliadas. Esses valores, entretanto, devem ser interpretados como resultado específico para solos calcários, nos quais a disponibilidade de P é fortemente influenciada por reações com cálcio, não devendo ser extrapolados diretamente como recomendação geral para solos ácidos do Cerrado.

Para o N, resultados obtidos com capim-marandu indicam resposta crescente da produção de matéria seca até determinado ponto, seguida de tendência à estabilização. Na implantação de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, Martins et al. (2022) observaram maior produção de matéria seca da parte aérea, de 3.115,8 kg ha^{-1}, na dose estimada de 122,4 kg ha^{-1} de N, enquanto a matéria seca de folhas atingiu 2.023,2 kg ha^{-1} na dose estimada de 125,1 kg ha^{-1} de N. Esses resultados evidenciam que a adubação nitrogenada favorece o estabelecimento inicial da forrageira, mas que o aumento das doses deve ser tecnicamente ajustado para evitar baixa eficiência de uso do nutriente.

Em avaliação técnico-econômica da adubação nitrogenada em *Urochloa brizantha* cv. Marandu, na região do Vale do Acre, Reis et al. (2022) observaram que a dose de 168,75 kg de N ha^{-1} ano^{-1} proporcionou o melhor desempenho agronômico, com teor de proteína bruta de 17,78%. Entretanto, a dose de 67,50 kg de N ha^{-1} ano^{-1} apresentou melhor relação custo-benefício, com custos estimados de US$ 49,86 para produção de matéria seca e US$ 30,36 para proteína bruta, sendo considerada a opção economicamente mais vantajosa nas condições avaliadas.

O parcelamento da adubação nitrogenada contribui para melhor distribuição da produção de forragem ao longo dos cortes, especialmente durante o período chuvoso. Em capim-marandu, Gomide, Paciullo e Martins (2020), com base em dados de Gomide et al. (2007), relataram que a aplicação de 160 kg ha^{-1} de N parcelada em quatro aplicações de 40 kg ha^{-1} proporcionou distribuição mais equilibrada da produção entre os quatro cortes, com participação de 27,8%, 28,2%, 21,7% e 22,3%, respectivamente. Em contraste, a aplicação da mesma dose em uma única vez concentrou maior proporção da produção nos dois primeiros cortes, com 43,6%, 36,2%, 13,3% e 6,9%, respectivamente, além de resultar em menor produção total de forragem em relação às aplicações parceladas.

A forma de adubação pode interferir nas respostas produtivas e estruturais das forrageiras. Em estudo com capim-mombaça, Conceição et al. (2023) observaram que as estratégias e o momento de aplicação do N após a desfolha alteraram indicadores morfogênicos e produtivos da planta. A aplicação do N três dias após a desfolhação resultou em taxas de alongamento foliar entre 0,0218 e 0,0235 cm $perfilho^{-1}$ dia^{-1}, conforme a recomendação de adubação utilizada, indicando que o momento de aplicação do N pode influenciar a resposta morfogênica da forrageira.

Em experimentos conduzidos em vasos de 5 dm^3, em casa de vegetação, com cultivares de *Megathyrsus maximus*, Motta et al. (2023) observaram que a combinação entre N e K deve ser ajustada conforme a cultivar. Na dose mais alta de N, correspondente a 280 mg dm^{-3}, a maior massa de forragem ocorreu com 140 mg dm^{-3} de K para o capim-mombaça e com 210 mg dm^{-3} de K para o capim-zuri, indicando relações aproximadas de 2:1 e 1,3:1, respectivamente. Assim, a recomendação deve ser interpretada como uma faixa de ajuste da relação N:K, e não como valor fixo para todas as cultivares.

No caso do K, é importante considerar que sistemas sob pastejo apresentam elevada ciclagem desse nutriente, pois grande parte do K consumido pelos animais retorna ao solo pelas excretas. Ainda assim, essa ciclagem ocorre de forma desuniforme, concentrando nutrientes em áreas de sombra, cochos e bebedouros; por isso, a adubação potássica de manutenção deve ser definida com base na análise de solo, na lotação animal e na quantidade de forragem removida ou reciclada no sistema (Monteiro, 2007; Havlin et al., 2014).

O enxofre também merece atenção em pastagens intensivas, especialmente quando se utilizam fertilizantes mais concentrados e com baixo teor de S. Como esse nutriente participa da síntese de aminoácidos sulfurados, sua deficiência pode limitar o aproveitamento do N e comprometer a formação de proteína na planta. Fontes como gesso agrícola, superfosfato simples e algumas formulações nitrogenadas ou organominerais podem contribuir para o suprimento de S, desde que a escolha seja compatível com a análise de solo e com a estratégia de adubação adotada (Malavolta, 2006; Havlin et al., 2014).

Embora exigidos em menores quantidades, os micronutrientes não devem ser negligenciados em sistemas de alta produção. Boro, cobre, manganês, zinco, ferro, molibdênio e outros elementos participam de processos enzimáticos, fotossintéticos e de síntese proteica; quando deficientes, podem limitar a resposta aos macronutrientes. Em áreas intensificadas, a reposição deve ser orientada por diagnóstico técnico, evitando aplicações indiscriminadas e priorizando os nutrientes efetivamente limitantes (Malavolta, 2006; Taiz et al., 2017).

Quanto maior o nível de produção de forragem, maior tende a ser a extração de nutrientes pelo sistema. Por isso, pastagens de alta produtividade exigem monitoramento mais frequente, reposição proporcional à produção e ajustes nas doses conforme a estação, a lotação animal e a meta de desempenho. A falta de um único nutriente pode limitar a resposta dos demais, reduzindo a eficiência da adubação e elevando o custo por unidade de matéria seca produzida.

De forma integrada, estudos recentes demonstram que a obtenção de alta produtividade forrageira em gramíneas tropicais está condicionada ao manejo criterioso da adubação, considerando exigências nutricionais específicas, fontes e doses de fertilizantes e estratégias de aplicação ao longo do ciclo produtivo (Martins et al., 2022; Reis et al., 2022; Conceição et al., 2023; Motta et al., 2023; Enesi et al., 2023).

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A correção e a adubação do solo configuram-se como pilares fundamentais para a sustentabilidade e a alta produtividade dos sistemas pecuários baseados em pastagens, especialmente em regiões do Cerrado brasileiro, onde predominam solos naturalmente ácidos e de baixa fertilidade. Evidenciou-se que o desempenho das forrageiras está diretamente condicionado às propriedades químicas do solo, as quais influenciam o crescimento radicular, a absorção de nutrientes, a produção de biomassa e a persistência das pastagens ao longo do tempo.

A análise de solo destacou-se como ferramenta indispensável para o diagnóstico preciso das condições químicas, físicas e, quando pertinente, biológicas do solo, fundamentando estratégias técnicas eficientes de manejo da fertilidade. Sua utilização permite direcionar a aplicação racional de corretivos e fertilizantes, evitando tanto deficiências quanto excessos nutricionais, além de contribuir para a redução de custos e de impactos ambientais associados ao uso inadequado de insumos.

No que se refere à adubação, ficou evidente que a reposição adequada de nutrientes, ajustada às exigências das espécies forrageiras e ao nível de intensificação do sistema, é determinante para a manutenção de elevados patamares produtivos. A resposta positiva das pastagens à adubação nitrogenada, fosfatada e potássica reforça a necessidade de manejo criterioso, considerando não apenas a produtividade, mas também a eficiência agronômica e econômica das práticas adotadas.

Por fim, a integração entre correção do solo, adubação equilibrada, monitoramento contínuo da fertilidade e uso de tecnologias de suporte à decisão deve ser compreendida como abordagem central na intensificação sustentável das pastagens. A adoção dessas práticas, fundamentadas em critérios técnicos e científicos, possibilita a recuperação e a manutenção da produtividade das áreas pastoris, promovendo sistemas pecuários mais eficientes, resilientes e ambientalmente responsáveis, alinhados às demandas atuais de produção animal e conservação dos recursos naturais.

DECLARAÇÃO DE USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Os autores declaram que utilizaram a ferramenta ChatGPT, da OpenAI, modelo GPT-5.5 Thinking, como apoio na elaboração deste capítulo, especialmente na organização textual, revisão da redação acadêmica e elaboração de figuras, esquemas e elementos visuais.

Todo o conteúdo textual e visual produzido com apoio da IA foi revisado, ajustado e validado pelos autores, que assumem integral responsabilidade pelo capítulo. A Inteligência Artificial não foi considerada autora ou coautora.

REFERÊNCIAS

AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, v. 27, n. 4, p. 601-612, 2003.

ANTONANGELO, J. A.; FERRARI NETO, J.; CRUSCIOL, C. A. C.; ZHANG, H. Lime and calcium-magnesium silicate cause chemical attributes stratification in no-till fields. **Soil and Tillage Research,** Amsterdam, v. 224, 105522, 2022. DOI: 10.1016/j.still.2022.105522.

ARAGÃO, D. V.; CARVALHO, C. J. R. de; KATO, O. R.; ARAÚJO, C. M. de; SANTOS, M. T. P. dos; MOURÃO JÚNIOR, M. Avaliação de indicadores de qualidade do solo sob alternativas de recuperação do solo no Nordeste Paraense. **Acta Amazonica,** Manaus, v. 42, n. 1, p. 11-18, 2012. DOI: 10.1590/S0044-59672012000100002.

ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; NEVES, J. C. L.; LANI, J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Applied Research & Agrotechnology**, Guarapuava, v. 5, n. 1, p. 187-206, 2012. DOI: 10.5777/PAeT.V5.N1.12.

BACKES, C.; SANTOS, A. J. M.; RODRIGUES, L. M.; TEODORO, A. G.; RIBON, A. A.; VILLAS BÔAS, R. L.; PEREIRA, L. M.; FRANCO, Y. M. Recovery of a dystrophic Red Latosol (Oxisol) and pasture as a function of gypsum in the Cerrado biome. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 46, n. 4, p. 286-295, 2017.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

CABRAL, C. E. A.; CABRAL, C. H. A.; SANTOS, A. R. M.; MOTTA, A. M.; MOTA, L. G. Impactos técnico-econômicos da adubação de pastos. **Nativa**, Sinop, v. 9, n. 2, p. 173-181, 2021. DOI: 10.31413/nativa.v9i2.12047.

CAIRES, E. F.; GARBUIO, F. J.; ALLEONI, L. R. F.; CAMBRI, M. A. Calagem superficial e cobertura vegetal em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 299-310, 2006.

CAIRES, E. F.; JORIS, H. A. W.; CHURKA, S. Gypsum application affects root growth, nutrient uptake, and grain yield of corn in a no-till system. **Agronomy Journal,** Madison, v. 103, n. 5, p. 1432-1441, 2011.

CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F.; MARTINEZ, H. E. P.; NOVAIS, R. F. Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F. de; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 769-850.

CARVALHO, N. E.; HIDALGO, P. H.; PADILHA, M. de S.; LAPERE, T. E. L.; LOURENTE, E. R. P. Produtividade de pastagem sob sistema orgânico. **Cadernos de Agroecologia**, v. 11, n. 2, p. 1-8, 2016.

CARVALHO, W. T. V.; MINIGHIN, D. C.; GONÇALVES, L. C.; VILLANOVA, D. F. Q.; MAURÍCIO, R. M.; PEREIRA, R. V. G. Pastagens degradadas e técnicas de recuperação: revisão. **PUBVET**, Maringá, v. 11, n. 10, p. 1036-1045, 2017. DOI: 10.22256/pubvet.v11n10.1036-1045.

COMBATT CABALLERO, E. M.; PATERININA DURANGO, E. M.; PEREZ POLO, D. J. Phosphorus fertilization on biomass and bromatological composition of forage grasses in calcareous soils. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 30, n. 3, e296442, 2026. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v30n3e296442.

CONCEIÇÃO, E. C. de A. da; SOUSA, S. V. de; SANTOS, P. M. dos; MEZZOMO, R.; PAIVA, H. S.; MACIEL, R. P. Efeito residual de estratégias de adubação sobre características produtivas do capim Mombaça no período seco. **Veterinária e Zootecnia**, Botucatu, v. 30, p. 1-14, 2023. DOI: 10.35172/rvz.2023.v30.1087.

CORDEIRO, L. A. M.; VILELA, L.; MARCHÃO, R. L.; KLUTHCOUSKI, J.; MARTHA JÚNIOR, G. B. Integração lavoura-pecuária e integração lavoura-pecuária-floresta: estratégias para intensificação sustentável do uso do solo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, DF, v. 32, n. 1/2, p. 15-53, 2015. DOI: 10.35977/0104-1096.cct2015.v32.23294.

DIAS-FILHO, M. B. **Degradação de pastagens: o que é e como evitar.** Brasília, DF: Embrapa, 2017. 19 p.

D'OLIVEIRA, P. S.; HOTT, M. C.; ANDRADE, R. G.; MAGALHÃES JÚNIOR, W. C. P. de. **Aplicações da agricultura de precisão em pastagens**. Juiz de Fora, MG: Embrapa Gado de Leite, 2023. 29 p. (Circular Técnica, 127).

DONAGEMMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B. de; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. (org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p. (Embrapa Solos. Documentos, 132).

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment.** Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 3-21. DOI: 10.2136/sssaspecpub35.c1.

ENESI, R. O.; DYCK, M.; CHANG, S.; THILAKARATHNA, M. S.; FAN, X.; STRELKOV, S.; GORIM, L. Y. Liming remediates soil acidity and improves crop yield and profitability: a meta-analysis. **Frontiers in Agronomy**, Lausanne, v. 5, article 1194896, 2023. DOI: 10.3389/fagro.2023.1194896.

FRANCISCO, E. A. B.; BONFIM-SILVA, E. M.; TEIXEIRA, R. A. Aumento da produtividade de carne via adubação de pastagens. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 158, p. 6-12, 2017.

GOMIDE, C. A. M.; PACIULLO, D. S. C.; MARTINS, C. E. **Momento da adubação nitrogenada em pastagens intensivamente manejadas.** Juiz de Fora, MG: Embrapa Gado de Leite, 2020. 18 p. (Circular Técnica, 125).

GOMIDE, C. A. M.; RANGEL, J. H. A.; PACIULLO, D. S. C.; SANTOS, C. A. P.; SILVA, T. B.; MUNIZ, E. N.; SANTOS, N. L. Produção e estrutura do capim-marandu durante o período chuvoso em resposta ao parcelamento da adubação e aplicação de esterco. In: REUNIÃO DA ASSOCIAÇÃO LATINO-AMERICANA DE PRODUÇÃO ANIMAL, 20., 2007, Cusco. **Anais [...].** Cusco: ALPA, 2007. CD-ROM.

GUIMARÃES JÚNIOR, M. P. A.; SANTOS, A. C.; ARAÚJO, A. S.; SANTOS, J. G. D.; SILVA, R. R. Relação Ca:Mg do corretivo da acidez do solo e as características agronômicas de plantas forrageiras. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 14, n. 3, p. 460-471, 2013.

HAVLIN, J. L.; TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D. **Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management.** 8. ed. Upper Saddle River: Pearson, 2014.

LIMA FILHO, O. F. de; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D**. Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. Brasília, DF: Embrapa, 2014.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. **Interpretação de análise de solo: conceitos e aplicações.** São Paulo: ANDA, 2007.

MALAVOLTA, E. **ABC da análise de solos e folhas: amostragem, interpretação e sugestões de adubação.** São Paulo: Agronômica Ceres, 1992. 124 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 631 p.

MARSCHNER, P. (ed.). **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. Amsterdam: Elsevier/Academic Press, 2012. 651 p.

MARTHA JÚNIOR, G. B.; VILELA, L.; SOUSA, D. M. G. de (ed.). **Cerrado: uso eficiente de corretivos e fertilizantes em pastagens.** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2007. 224 p.

MARTINS, M. V. R.; PEREIRA, C. E.; KIKUTI, H. Adubação nitrogenada na implantação de Brachiaria brizantha cv. Marandu em Humaitá-AM. **Scientia Plena**, Aracaju, v. 18, n. 7, 070208, 2022. DOI: 10.14808/sci.plena.2022.070208.

MELO, V. F.; SILVA, D. T.; EVALD, A.; ROCHA, P. R. R. Chemical and biological quality of the soil in different systems of use in the savanna environment. **Revista Agro@mbiente On-line**, Boa Vista, v. 11, n. 2, p. 101-110, 2017. DOI: 10.18227/1982-8470ragro.v11i2.3850.

MONTEIRO, F. A. Nutrição mineral e adubação de pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 20., 2007, Piracicaba. **Anais [...].** Piracicaba: FEALQ, 2007.

MOTTA, L. J. M.; MOTA, L. G.; GOMES, L. D.; ALVES-SILVA, G. B.; MOURA, A. B. O.; CAMARGO, S. P.; CABRAL, C. H. A.; CABRAL, C. E. A. Nitrogênio e o potássio na adubação de manutenção de cultivares de *Megathyrsus maximus*. **Scientific Electronic Archives,** v. 16, n. 10, p. 20-26, 2023. DOI: 10.36560/161020231791.

NOVAIS, R. F. de; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais.** Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399 p.

NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F. de; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (ed.). **Fertilidade do solo.** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017 p.

QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. van; MALAVOLTA, E. Alternative use of the SMP-buffer solution to determine lime requirement of soils. C**ommunications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 16, n. 3, p. 245-260, 1985. DOI: 10.1080/00103628509367600.

RAIJ, B. van. **Acidez do solo e calagem.** Campinas: Instituto Agronômico, 1991.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011.

REIS, E. M. B.; ALMEIDA, Í. C. de; TAQUETTI, V. B.; PRAÇA, N. M. P.; BERBARI NETO, F. Avaliação técnica e econômica da adubação nitrogenada em Urochloa brizantha cv. Marandu na Região do Vale do Acre, Brasil. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 1, e44411125314, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i1.25314.

RITCHEY, K. D.; SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E.; CORRÊA, O. Calcium leaching to increase rooting depth in a Brazilian Savannah Oxisol. **Agronomy Journal**, Madison, v. 72, p. 40-44, 1980.

ROSADO, T. L.; GONTIJO, I. Adubação nitrogenada em pastagens: os resultados promissores obtidos na pesquisa e a realidade enfrentada pelos produtores**. Revista Vértices,** Campos dos Goytacazes, v. 19, n. 1, p. 163-174, 2017. DOI: 10.19180/1809-2667.v19n12017p163-174.

SALMAN, A. K. D. **Conceitos de manejo de pastagem ecológica**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2007. 19 p. (Embrapa Rondônia. Documentos, 121).

SOARES, G. R.; TAVARES, V. B.; NEIVA JÚNIOR, A. P.; FERNANDES, L. O. Nitrogenated fertilization in pasture *Brachiaria brizantha* cv. Marandu via organic compounds. **Boletim de Indústria Animal,** Nova Odessa, v. 81, p. 1-15, 2024. DOI: 10.17523/bia.2024.v81.e1769.

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

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E.; REIN, T. A. Adubação com fósforo. In: SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. (ed.). Cerrado: correção do solo e adubação. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004. p. 147-168.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E.; REIN, T. A. **Uso de gesso agrícola nos solos do Cerrado.** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2005. 19 p. (Documentos / Embrapa Cerrados, 32).

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal.** 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

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

TOMAZELLO, D. A.; MELO, E. M. da F.; SANTOS, A. J. M.; BACKES, C.; TEODORO, A. G.; RIBON, A. A. **Adubação orgânica em pastagens**. In: CIÊNCIAS AGRÁRIAS: LIMITES E POTENCIALIDADES EM PESQUISA. v. 3. [S. l.]: Editora Científica Digital, 2023. cap. 13, p. 199-216. DOI: 10.37885/231014712.

VALENTIM, J. F. **Recomendação de calagem e adubação para pastagens no Acre**. 2. ed. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2014. 11 p. (Circular Técnica, 46).

USO DE BIOINSUMO EM FORRAGEIRAS

10.56238/livrosindi2026111-006

Gabriel dos Santos Cabral
Maxwel Vieira Marciano
Clarice Backes
José Henrique da Silva Taveira
Alessandro José Marques Santos

1 INTRODUÇÃO

Os novos métodos de cultivo estão cada vez mais direcionados a sistemas sustentáveis, orgânicos e ecologicamente equilibrados. Na agricultura moderna, o principal objetivo é reduzir o uso de insumos sem comprometer a produtividade e a qualidade dos produtos agrícolas.

Nesse contexto, a intensificação sustentável dos sistemas de produção animal que são baseados nas pastagens para sua alimentação, tem se consolidado como uma das principais demandas da agropecuária contemporânea, especialmente em países tropicais como o Brasil, onde a produção de ruminantes depende fortemente das forrageiras (Bahuguna et al., 2022).

Paralelamente, a crescente preocupação dos consumidores com questões ambientais e de saúde, tem impulsionado a busca por alimentos que, além de saudáveis e convenientes, sejam produzidos por meio de técnicas que buscam reduzir o impacto ambiental (Schiattone et al., 2018).

Diante desse cenário, o uso de bioinsumos vem sendo progressivamente incorporado ao setor produtivo, pois pode contribuir para a redução do uso de fertilizantes químicos, estimular o crescimento das plantas, favorecer a fixação biológica de nitrogênio (FBN) e a solubilização de fósforo (P). Consequentemente, seu emprego pode resultar em um maior rendimento das culturas e em menores impactos sobre as condições do solo, o que tem despertado interesse em sua utilização (Ansari et al., 2015).

Esses insumos atuam principalmente no estímulo dos processos fisiológicos das plantas, elevando a eficiência no uso de nutrientes e contribuindo para maior produtividade sem a necessidade de aumento proporcional de fertilizantes químicos.

Entre as estratégias mais promissoras de uso dos bioinsumos destaca-se a coinoculação de microrganismos benéficos, que pode melhorar significativamente o desempenho das culturas, atendendo simultaneamente às exigências de sustentabilidade econômica, social e ambiental (Hungria et al., 2015). Assim, essa biotecnologia surge como alternativa para os sistemas de produção animal que utilizam o pasto, como uma prática capaz de aumentar a produtividade vegetal e, consequentemente, a produtividade animal, garantindo ao mesmo tempo a sustentabilidade ambiental (Berça et al., 2021).

Assim, o uso de bactérias promotoras do crescimento vegetal tem ganhado destaque como uma ferramenta biotecnológica estratégica para promover o crescimento, a produtividade e a sustentabilidade de forrageiras tropicais (Duarte et al., 2023).

Diante disso, objetivou-se com este capítulo, apresentar e discutir os principais conceitos,

tipos e mecanismos de ação dos bioinsumos, bem como sua aplicação em forrageiras utilizadas na produção animal, destacando seus efeitos sobre o crescimento, a produtividade, a qualidade da forragem e a sustentabilidade dos sistemas produtivos.

2 DEFINIÇÃO E CATEGORIAS DE BIOINSUMOS

De acordo com o Decreto nº 10.375, de 26 de maio de 2020, considera-se bioinsumo o produto, o processo ou a tecnologia de origem vegetal, animal ou microbiana destinado ao uso na produção, no armazenamento e no beneficiamento de produtos agropecuários, nos sistemas de produção aquícolas ou de florestas plantadas, que interfira positivamente no crescimento, no desenvolvimento e nos mecanismos de resposta de animais, plantas, microrganismos e substâncias derivadas, bem como em processos físico-químicos e biológicos (Brasil, 2020).

No contexto agropecuário, os bioinsumos podem ser organizados didaticamente em quatro grandes grupos: biofertilizantes, inoculantes microbianos, biodefensivos e bioestimulantes. Essa classificação facilita a compreensão de suas funções no sistema produtivo, embora alguns produtos possam apresentar mais de um mecanismo de ação. De modo geral, os biofertilizantes estão associados à melhoria da fertilidade do solo e à disponibilização de nutrientes; os inoculantes microbianos correspondem a produtos formulados com microrganismos vivos capazes de estabelecer interações benéficas com as plantas; os biodefensivos são utilizados no manejo de pragas, doenças e plantas daninhas; e os bioestimulantes atuam na modulação de processos fisiológicos, favorecendo o crescimento vegetal, a eficiência no uso de nutrientes e a tolerância a estresses bióticos e abióticos (Brasil, 2020; Brasil, 2024).

A organização dos bioinsumos em diferentes categorias facilita a compreensão de suas funções no sistema produtivo, especialmente quando se considera sua atuação sobre a fertilidade do solo, a nutrição vegetal, o crescimento das plantas e o manejo fitossanitário, conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1. Principais categorias de bioinsumos e suas funções nos sistemas de produção forrageira.

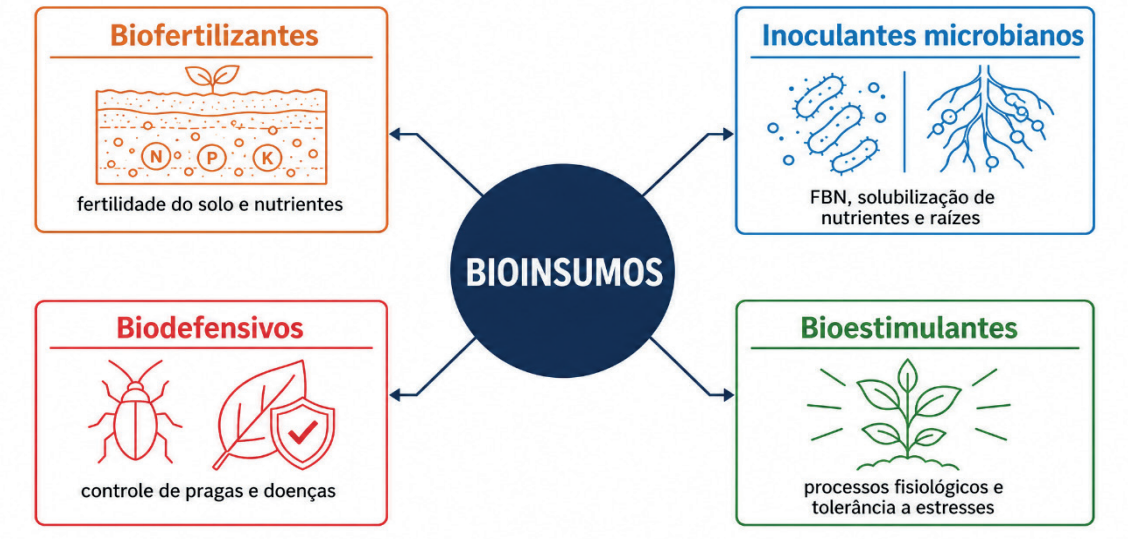


Figura 1. Classificação e principais funções dos bioinsumos agrícolas.

Fonte: Elaboração própria, com base em Brasil (2020), Brasil (2024), Mahanty et al. (2017), Bashan et al. (2014), Köhl, Kolnaar e Ravensberg (2019) e Du Jardin (2015).

Os biofertilizantes são insumos de base biológica que contêm microrganismos vivos, substâncias naturais ou compostos orgânicos capazes de melhorar propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, estimular o crescimento vegetal e favorecer a restauração da fertilidade do solo (Mahanty et al., 2017).

Os inoculantes microbianos são produtos formulados com microrganismos vivos selecionados por sua capacidade de promover efeitos benéficos às plantas. Entre seus principais mecanismos estão a FBN, a solubilização de nutrientes, a produção de fitohormônios e o estímulo ao desenvolvimento radicular (Bashan et al., 2014).

Os biodefensivos, também denominados produtos fitossanitários biológicos, são bioinsumos utilizados no manejo de pragas, doenças e plantas daninhas. Podem ser formulados com microrganismos, extratos naturais, metabólitos ou agentes biológicos capazes de reduzir organismos nocivos de forma mais seletiva e ambientalmente sustentável (Köhl; Kolnaar; Ravensberg, 2019).

Os bioestimulantes são substâncias, microrganismos ou compostos aplicados às plantas, sementes ou ao solo com a finalidade de estimular processos fisiológicos, melhorar a eficiência no uso de nutrientes, favorecer o crescimento vegetal e ampliar a tolerância a estresses abióticos, independentemente do fornecimento direto de nutrientes (Du Jardin, 2015).

3 BIOFERTILIZANTES

Os biofertilizantes representam uma alternativa ecológica e sustentável, desempenhando papel importante na agricultura, podendo aumentar a fertilidade do solo e promover o crescimento das plantas por meio de processos naturais.

Há relatos nacionais que demonstram esses efeitos, Cavalcante et al. (2019) revisaram a aplicação de biofertilizantes em culturas hortícolas, e destacaram ganhos significativos na produtividade e qualidade das plantas, enquanto Costa et al. (2021) relataram, em experimentos com solos da região do bioma Amazônico, que biofertilizantes à base de resíduos orgânicos aumentaram a disponibilidade de nutrientes e a fertilidade química do solo, evidenciando o potencial prático desses insumos na agricultura brasileira.

4 INOCULANTES MICROBIANOS

Os inoculantes microbianos constituem um dos principais grupos de bioinsumos utilizados na agricultura, sendo formulados com microrganismos vivos selecionados por sua capacidade de estabelecer interações benéficas com as plantas e com o ambiente edáfico. Esses microrganismos podem colonizar a rizosfera, a superfície das raízes ou os tecidos internos das plantas, atuando em processos relacionados à nutrição vegetal, ao crescimento radicular, à atividade biológica do solo e à maior eficiência no uso de nutrientes (Figueiredo et al., 2010; Bashan et al., 2014).

Entre os principais microrganismos utilizados como inoculantes destacam-se bactérias dos gêneros *Azospirillum*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Pantoea*, *Rhizobium*, *Bradyrhizobium* e *Azotobacter*, além dos fungos micorrízicos arbusculares. Esses organismos podem atuar por diferentes mecanismos, como FBN, solubilização de P e potássio (K), produção de fitohormônios, síntese de enzimas, estímulo ao desenvolvimento radicular e melhoria da atividade microbiana do solo (Bashan et al., 2014; Guimarães et al., 2022; Shahwar et al., 2023).

A atuação dos inoculantes microbianos em forrageiras envolve diferentes mecanismos biológicos e bioquímicos que ocorrem principalmente na rizosfera e no sistema radicular, resultando em maior disponibilidade de nutrientes, crescimento radicular e eficiência fisiológica das plantas, como sintetizado na Figura 2.

Figura 2. Mecanismos de ação dos inoculantes microbianos em forrageiras tropicais.

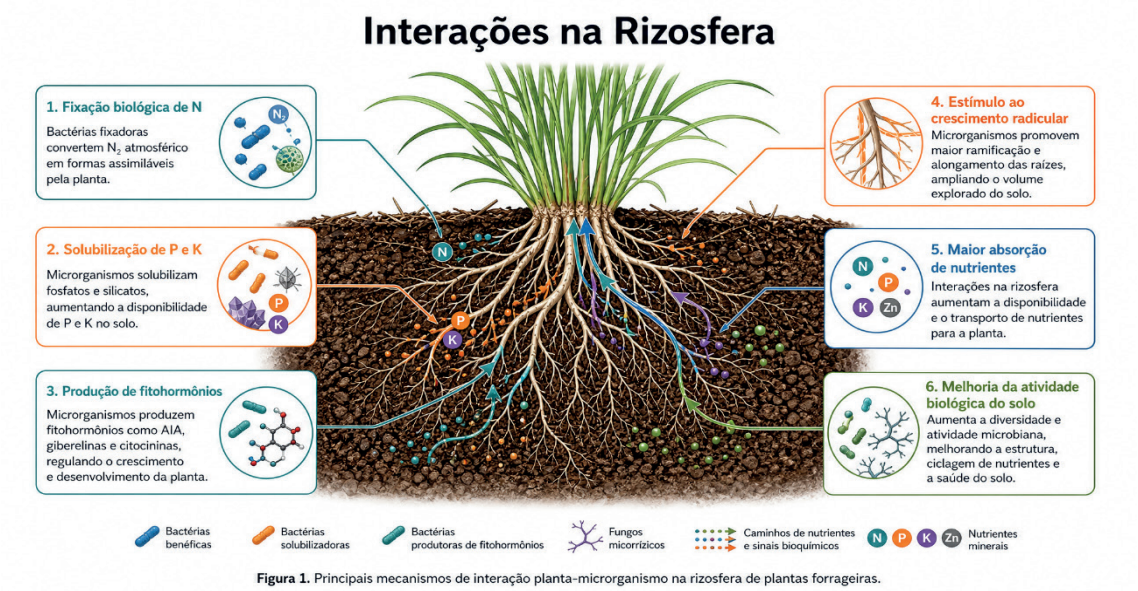


Figura 1. Principais mecanismos de interação planta-microrganismo na rizosfera de plantas forrageiras.

Fonte: Elaboração própria, com base em Figueiredo et al. (2010), Bashan et al. (2014), Khare e Arora (2015), Guimarães et al. (2022) e Shahwar et al. (2023).

A eficiência dos inoculantes microbianos depende da interação entre microrganismo, planta, solo e ambiente. Fatores como pH, textura, umidade, temperatura, disponibilidade de nutrientes, competição com a microbiota nativa e forma de aplicação interferem na sobrevivência, colonização e atividade metabólica dos microrganismos introduzidos. Assim, a seleção de cepas adaptadas às condições locais e o uso de tecnologias adequadas de formulação e aplicação são essenciais para aumentar a consistência das respostas em campo (Bashan et al., 2014; Khare; Arora, 2015; Shahwar et al., 2023).

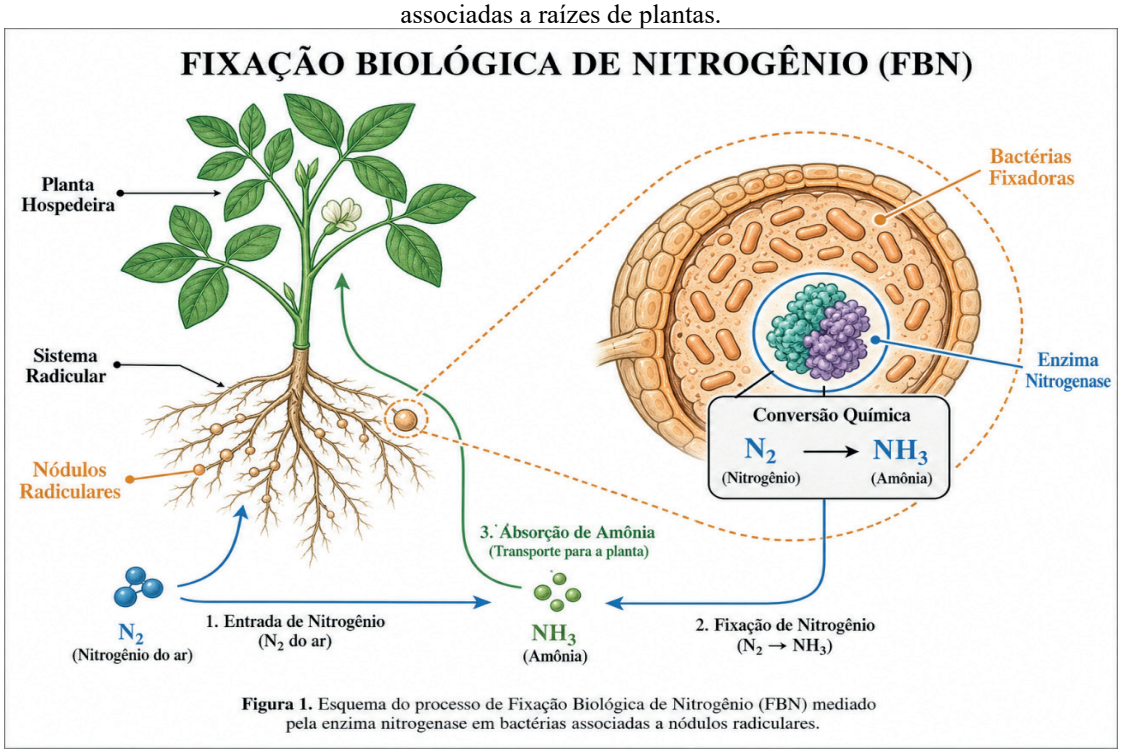
4.1 BACTÉRIAS FIXADORAS DE NITROGÊNIO

As bactérias fixadoras de nitrogênio (N) são microrganismos capazes de converter o N atmosférico em formas assimiláveis pelas plantas, principalmente amônia, por meio do processo denominado FBN. Esse processo é mediado pela enzima nitrogenase e representa uma via biológica importante para o suprimento de N nos sistemas agrícolas (Lindström; Mousavi, 2020; Sharma et al., 2024).

De acordo com o tipo de associação estabelecida com as plantas, essas bactérias podem ser classificadas em simbióticas, associativas, endofíticas ou de vida livre. As simbióticas, como *Rhizobium* e *Bradyrhizobium*, estabelecem relações mutualísticas principalmente com leguminosas, formando nódulos radiculares onde ocorre a fixação do N. Já bactérias como *Azospirillum*, *Azotobacter* e *Clostridium* podem atuar de forma associativa, endofítica ou livre no solo, contribuindo para a ciclagem de nutrientes e para a promoção do crescimento vegetal (Moreira et al., 2010; Lindström; Mousavi, 2020; Silva et al., 2017).

O processo de fixação biológica de nitrogênio e os diferentes tipos de associação estabelecidos entre bactérias diazotróficas e plantas podem ser compreendidos de forma esquemática na Figura 3, que ilustra a conversão do N atmosférico em formas assimiláveis pelas plantas, com destaque para o papel da enzima nitrogenase e dos nódulos radiculares.

Figura 3. Esquema do processo de fixação biológica de nitrogênio (FBN) mediado pela enzima nitrogenase em bactérias associadas a raízes de plantas.



Fonte: Elaboração própria, com base em Lindström; Mousavi (2020) e Sharma et al., 2024.

4.2 MICRORGANISMOS SOLUBILIZADORES DE FÓSFORO

Os microrganismos solubilizadores de P compreendem bactérias e fungos capazes de transformar formas pouco solúveis de fosfato presentes no solo em formas mais disponíveis às plantas. Esse grupo é especialmente importante porque grande parte do P do solo pode estar retida em formas de baixa disponibilidade, limitando sua absorção pelas raízes (Silva et al., 2023; Pang et al., 2024).

O principal mecanismo de ação desses microrganismos envolve a produção de ácidos orgânicos, enzimas fosfatases e outros compostos capazes de alterar a dinâmica do P no solo. Com isso, esses organismos favorecem a solubilização de fosfatos insolúveis, aumentam a biodisponibilidade do nutriente e contribuem para maior eficiência no aproveitamento das reservas naturais de P (Silva et al., 2023; Pang et al., 2024).

4.3 MICRORGANISMOS SOLUBILIZADORES DE POTÁSSIO

Os microrganismos solubilizadores de K são bactérias e fungos capazes de liberar K retido em minerais do solo, como feldspatos e micas. Essa liberação ocorre por mecanismos bioquímicos que transformam formas pouco disponíveis de K em formas mais acessíveis à absorção pelas plantas (Maurya; Meena; Meena, 2016; Olaniyan et al., 2022).

Entre os mecanismos envolvidos estão a produção de ácidos orgânicos, acidólise, quelação, complexação e reações de troca iônica. Esses processos contribuem para a mobilização do K no solo

e para a melhoria da eficiência no uso desse nutriente. Entre os gêneros frequentemente associados à solubilização de K destacam-se *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Aspergillus* e *Penicillium* (Kour et al., 2020; Yadav, 2022; Olaniyan et al., 2022).

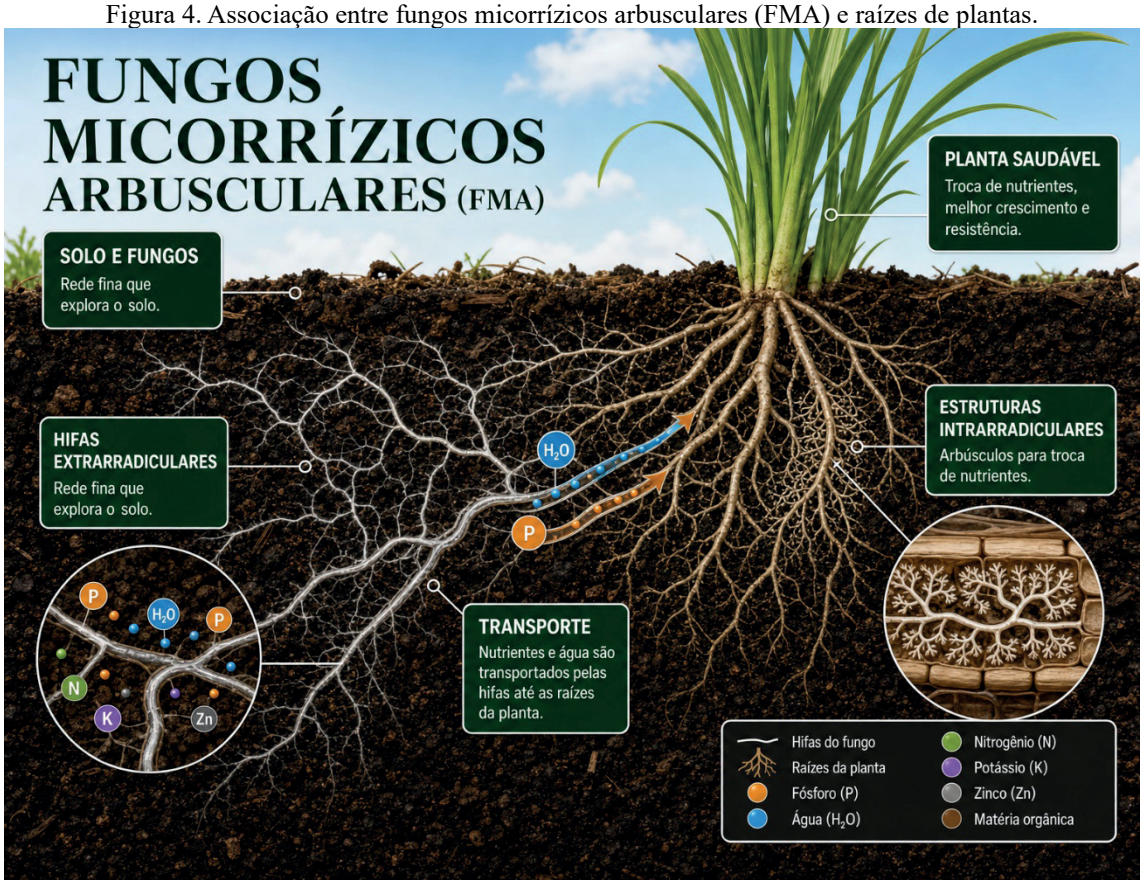
4.4 FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES

Os fungos micorrízicos arbusculares também podem ser considerados inoculantes microbianos, pois estabelecem associações simbióticas com as raízes das plantas e ampliam a zona de exploração do solo. Por meio da formação de hifas, esses fungos aumentam a capacidade de absorção de água e nutrientes, com destaque para o P, elemento frequentemente limitante em solos agrícolas (Wahab et al., 2023; Wu; Chen; Wang, 2024).

Além da contribuição para a nutrição mineral, os fungos micorrízicos arbusculares podem favorecer a estruturação do solo, a estabilidade dos agregados, a atividade biológica e a tolerância das plantas a condições de estresse. Dessa forma, representam um grupo importante de inoculantes microbianos em sistemas agrícolas que buscam maior eficiência no uso de nutrientes e maior sustentabilidade do manejo do solo (Bender; Van der Heijden, 2015; Delaeter et al., 2024; Son; Martínez; Kao-Kniffin, 2024).

A associação simbiótica entre fungos micorrízicos arbusculares e raízes de plantas, bem como o papel das hifas na ampliação da absorção de água e nutrientes, especialmente fósforo, está sintetizada na Figura 4.

Figura 4. Associação entre fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e raízes de plantas.



Fonte: Elaboração própria, com base em Smith e Read (2008), Brundrett e Tedersoo (2018) e Genre et al. (2020). Imagem criada com auxílio do Visual Mind.

5 BIODEFENSIVOS

Os biodefensivos, também denominados agentes de controle biológico ou produtos fitossanitários biológicos, constituem um grupo de bioinsumos utilizados no manejo de pragas, doenças e, em alguns casos, plantas daninhas. Esses produtos podem ser formulados a partir de microrganismos, extratos vegetais, metabólitos naturais ou inimigos naturais, atuando de forma seletiva sobre organismos-alvo e contribuindo para a redução da dependência de defensivos químicos sintéticos (Köhl; Kolnaar; Ravensberg, 2019; Rodrigues et al., 2023).

Entre os principais agentes microbianos utilizados como biodefensivos destacam-se bactérias e fungos capazes de atuar no controle de insetos-praga e fitopatógenos. O *Bacillus thuringiensis*, por exemplo, é um dos biopesticidas microbianos mais conhecidos, sendo utilizado principalmente no controle de insetos da ordem Lepidoptera. Seu mecanismo de ação está relacionado à produção de toxinas cristalinas que, após ingeridas pelas larvas, interferem no funcionamento do sistema digestivo do inseto, levando à sua morte (Kumar et al., 2021).

Fungos do gênero *Trichoderma* também são amplamente empregados como agentes de controle biológico, sobretudo no manejo de fitopatógenos de solo. Esses microrganismos podem atuar por diferentes mecanismos, como antagonismo direto, competição por espaço e nutrientes, produção de enzimas hidrolíticas, antibiose e indução de resistência sistêmica nas plantas (Köhl; Kolnaar; Ravensberg, 2019).

Outro grupo importante é representado pelos fungos entomopatogênicos, como *Beauveria bassiana*, que atuam no controle de insetos-praga por meio da infecção direta do hospedeiro. Nesse processo, o fungo penetra pela cutícula do inseto, coloniza seus tecidos e causa sua morte, podendo ser utilizado isoladamente ou em associação com outras estratégias de manejo biológico (Rodrigues et al., 2023).

De maneira geral, os biodefensivos representam uma alternativa importante para o manejo fitossanitário sustentável, pois podem contribuir para a redução do uso de defensivos químicos, a conservação de organismos benéficos e a diminuição dos impactos ambientais associados ao controle convencional de pragas e doenças.

6 BIOESTIMULANTES

Os bioestimulantes constituem um grupo de bioinsumos formado por substâncias, compostos ou microrganismos capazes de estimular processos naturais das plantas, favorecendo o crescimento vegetal, a eficiência no uso de nutrientes, a qualidade das culturas e a tolerância a estresses bióticos e abióticos. Diferentemente dos fertilizantes convencionais, sua principal função não está no fornecimento direto de nutrientes, mas na modulação de processos fisiológicos e bioquímicos que tornam o uso dos recursos disponíveis mais eficiente (Du Jardin, 2015; Drobek et al., 2019).

Entre os principais bioestimulantes utilizados na agricultura destacam-se os ácidos húmicos e fúlvicos, os extratos de algas marinhas, os aminoácidos e hidrolisados proteicos, além de polímeros de origem biológica, como a quitina e a quitosana. Esses compostos podem atuar de diferentes for-

mas, dependendo de sua origem, composição química, forma de aplicação, espécie vegetal e condições ambientais (Du Jardin, 2015; Akdağ et al., 2024).

Os ácidos húmicos e fúlvicos são derivados da decomposição da matéria orgânica e podem contribuir para a melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Sua ação está associada à estruturação do solo, à retenção de água, à disponibilidade de nutrientes e ao estímulo ao crescimento radicular, favorecendo o desenvolvimento das plantas em diferentes condições de cultivo (Akdağ et al., 2024).

Os extratos de algas marinhas apresentam compostos bioativos, como polissacarídeos, aminoácidos, vitaminas, minerais e substâncias com ação semelhante à de fitohormônios. Esses compostos podem atuar no estímulo ao crescimento vegetal, na regulação de processos metabólicos e no fortalecimento de respostas fisiológicas associadas à tolerância a estresses ambientais (Kumar et al., 2024).

Os aminoácidos livres e os hidrolisados proteicos podem atuar no metabolismo do N, na síntese de compostos estruturais e na ativação de respostas fisiológicas relacionadas ao crescimento e à tolerância a estresses. Já a quitina e a quitosana, obtidas principalmente de crustáceos e fungos, destacam-se por sua atuação na indução de mecanismos de defesa das plantas contra patógenos e condições adversas (Drobek et al., 2019; Akdağ et al., 2024).

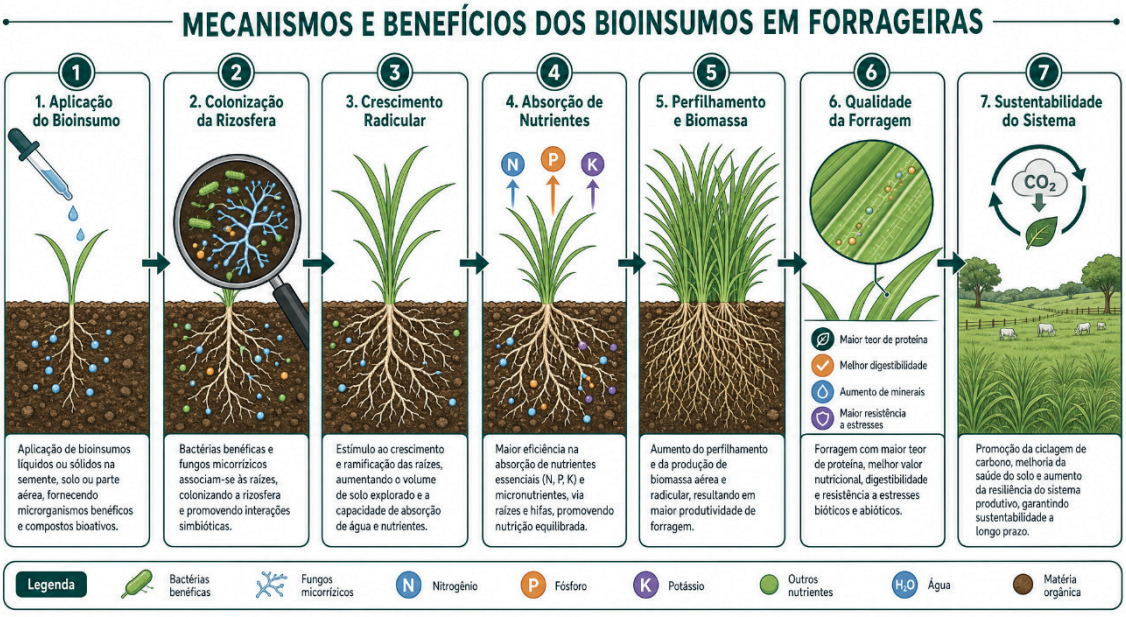
De maneira geral, os bioestimulantes representam uma ferramenta complementar ao manejo agrícola, podendo contribuir para maior eficiência fisiológica das plantas, melhor aproveitamento dos nutrientes disponíveis e maior resiliência frente a condições de estresse. No entanto, sua eficiência depende da composição do produto, da dose, da forma de aplicação, da espécie vegetal e das condições edafoclimáticas, devendo seu uso ser integrado a práticas adequadas de manejo do solo, da fertilidade e da cultura (Du Jardin, 2015; Drobek et al., 2019; Akdağ et al., 2024).

7 BENEFÍCIOS AGRONÔMICOS DOS BIOINSUMOS EM FORRAGEIRAS

Em sistemas forrageiros, os bioinsumos têm sido avaliados como ferramentas complementares ao manejo da fertilidade do solo, da nutrição vegetal e da tolerância das plantas a condições adversas. Entre os principais efeitos relatados estão o aumento do crescimento radicular, maior produção de biomassa, incremento na massa seca da parte aérea, melhoria na absorção de nutrientes, maior eficiência no uso de fertilizantes e aumento da resiliência das plantas frente a estresses bióticos e abióticos. No entanto, essas respostas dependem do tipo de bioinsumo utilizado, da espécie forrageira, das condições edafoclimáticas, da forma de aplicação e do manejo adotado no sistema produtivo.

Em forrageiras tropicais, os efeitos dos bioinsumos podem ser compreendidos como uma sequência integrada de respostas que envolve a atividade microbiana no solo, o estímulo ao sistema radicular, a maior absorção de nutrientes, o incremento da biomassa e a melhoria da sustentabilidade do sistema, conforme apresentado na Figura 5.

Figura 5. Benefícios agronômicos dos bioinsumos em forrageiras tropicais.



Fonte: Elaboração própria, com base em Hungria et al. (2016a), Heinrichs et al. (2020), Leite et al. (2019a), Leite et al. (2019b), Freitas et al. (2023), Guimarães et al. (2023), De Beer et al. (2023) e Zaman et al. (2016).

7.1 CRESCIMENTO VEGETAL E PRODUÇÃO DE BIOMASSA

Entre as respostas mais relatadas com o uso de bioinsumos em forrageiras estão o aumento do crescimento radicular, o incremento da massa seca da parte aérea, a maior produção de biomassa e o aumento da densidade de perfilhos. Essas respostas são importantes porque refletem diretamente na capacidade produtiva da pastagem e na persistência das plantas no sistema de produção.

Em gramíneas tropicais, a inoculação com bactérias promotoras de crescimento, como *Azospirillum brasilense*, *Bacillus subtilis* e *Pseudomonas fluorescens*, tem demonstrado potencial para favorecer o desempenho de espécies dos gêneros *Urochloa* e *Megathyrsus*. Esses efeitos estão associados à atuação conjunta de mecanismos como FBN, produção de fitohormônios, solubilização de nutrientes e estímulo ao desenvolvimento do sistema radicular (Hungria et al., 2016a; Vieira et al., 2023; Guimarães et al., 2023).

Em *Urochloa brizantha* cv. Marandu, a inoculação com *Azospirillum brasilense* foi associada ao aumento da produção de massa seca de raízes e da parte aérea, além de alterações no acúmulo de nutrientes na biomassa vegetal. Também foram relatados incrementos no acúmulo diário de forragem, na densidade de perfilhos e na altura das plantas em diferentes períodos do ano (Heinrichs et al., 2020; Leite et al., 2019a).

Em forrageiras do gênero *Megathyrsus*, resultados positivos também têm sido observados. No capim-mombaça, a inoculação com *Azospirillum brasilense* associada à adubação nitrogenada promoveu respostas em características como número de perfilhos, acúmulo diário de forragem, massa de forragem e massa de raízes. De forma semelhante, no capim BRS Zuri, a inoculação com *Azospirillum brasilense* e *Pseudomonas fluorescens* foi associada ao aumento da massa seca da parte aérea e das raízes, da densidade de perfilhos, do índice relativo de clorofila e da absorção de nutrientes (Leite et al., 2019b; Freitas et al., 2023).

Os bioestimulantes também podem contribuir para o crescimento vegetal e a produção de biomassa em pastagens, especialmente quando utilizados de forma integrada à adubação nitrogenada. Em pastagens, esses produtos têm sido associados ao aumento da biomassa e da produção de matéria seca da parte aérea, com reflexos positivos sobre o rendimento da forragem (De Beer et al., 2023; Zaman et al., 2016).

Quadro 1. Estudos sobre o efeito do uso de inoculantes com bactérias promotoras de crescimento em gramíneas forrageiras.

Espécie forrageira	Microrganismo	Resultados encontrados	Referência
Urochloa brizantha cv. Marandu	*Azospirillum brasilense*	Aumento da produção de massa seca de raízes e da parte aérea; alterações nos teores de N, Mg, P, Fe, Mn, Zn e Cu na massa seca da parte aérea	Heinrichs et al. (2020)
Urochloa brizantha cv. Marandu	*Azospirillum brasilense*	Aumento no acúmulo diário de forragem (kg ha^{-1} dia^{-1}), densidade de perfilhos e altura das plantas nos períodos de seca, de transição e chuvoso	Leite et al. (2019a)
Urochloa brizantha cv. Marandu	*Bacillus subtilis*	Aumento da produção de massa seca da parte aérea e incremento da massa do sistema radicular	Manrique et al. (2019)
Megathyrsus maximus cv. Mombaça	*Azospirillum brasilense*	Interação entre inoculação e doses de N, com aumento no número de perfilhos, acúmulo diário de forragem, massa de forragem e massa de raízes	Leite et al. (2019b)
Megathyrsus maximus cv. BRS Zuri	*Azospirillum brasilense*; *Pseudomonas fluorescens*	Aumento da massa seca da parte aérea e das raízes, densidade de perfilhos, índice relativo de clorofila e absorção de nutrientes na parte aérea	Freitas et al. (2023)
Megathyrsus maximus cvs. BRS Zuri, Massai, Tanzânia, Mombaça, BRS Tamani e BRS Quênia	*Azospirillum brasilense*; *Bacillus subtilis*; *Pseudomonas fluorescens*	Incremento nas características radiculares, na biomassa da parte aérea e no acúmulo de nutrientes na parte aérea	Guimarães et al. (2023)

Fonte: Adaptado por De Souza Batista et al., 2025.

7.2 EFICIÊNCIA NO USO DE NUTRIENTES E REDUÇÃO DE FERTILIZANTES

Outra resposta importante associada ao uso de bioinsumos em forrageiras é a melhoria da eficiência no uso de nutrientes. Esse efeito pode ocorrer tanto pela ação de microrganismos capazes de fixar N ou solubilizar nutrientes quanto pelo uso de bioestimulantes que favorecem processos fisiológicos relacionados à absorção e ao aproveitamento dos nutrientes disponíveis.

A utilização de inoculantes microbianos pode contribuir para a redução parcial da dependência de fertilizantes minerais, especialmente nitrogenados, sem comprometer a produtividade das pastagens quando as condições de solo, clima e manejo são favoráveis. Esse aspecto reforça o potencial dos bioinsumos como ferramentas para a intensificação sustentável de sistemas forrageiros tropicais, desde que sua adoção esteja associada ao manejo adequado da fertilidade do solo e à escolha criteriosa das cepas utilizadas (Hungria et al., 2016a; Guimarães et al., 2023; Shahwar et al., 2023).

Pesquisas com bioestimulantes também indicam potencial para melhorar a eficiência de uso do N em pastagens. Bioestimulantes formulados a partir da alga marinha *Ascophyllum nodosum*, por

exemplo, têm sido estudados em sistemas de pastagens quanto à eficiência de uso desse nutriente. O bioestimulante PSI-362 possibilitou redução de aproximadamente 25% da adubação nitrogenada sem perdas na produtividade forrageira, com aumento da eficiência de utilização do N de 58,7% para 78,6%, conforme as doses aplicadas (Quille et al., 2024).

Sob a perspectiva da sustentabilidade, a maior eficiência no uso de nutrientes pode contribuir para a redução parcial das doses de fertilizantes, minimizando perdas para o ambiente e diminuindo os impactos associados ao manejo intensivo da fertilidade do solo. No entanto, esses efeitos devem ser interpretados como parte de uma estratégia integrada de manejo, e não como substituição direta e universal da adubação mineral.

7.3 QUALIDADE DA FORRAGEM E INDICADORES FISIOLÓGICOS

Além dos efeitos sobre crescimento e produção de biomassa, os bioinsumos podem influenciar indicadores fisiológicos e nutricionais das forrageiras. Entre esses indicadores, destacam-se o teor relativo de clorofila, a absorção de nutrientes, o acúmulo de N, P e K na biomassa vegetal e, em alguns casos, características relacionadas à qualidade da forragem.

A inoculação com bactérias promotoras de crescimento tem sido associada ao aumento do índice relativo de clorofila e da absorção de nutrientes em gramíneas forrageiras, especialmente quando os microrganismos atuam de forma complementar à adubação nitrogenada. Esses efeitos podem refletir melhor estado nutricional das plantas e maior capacidade fotossintética, contribuindo para o desempenho produtivo da pastagem (Freitas et al., 2023; Guimarães et al., 2023).

Bioestimulantes também podem apresentar efeitos sobre a eficiência de absorção de N e sobre características relacionadas ao rendimento e à qualidade da forragem. Em pastagens, sua utilização tem sido associada a melhorias na produção e na composição nutritiva da biomassa, embora tais respostas dependam da composição do produto, da espécie forrageira, da dose utilizada, da forma de aplicação e das condições ambientais (De Beer et al., 2023; Zaman et al., 2016).

7.4 TOLERÂNCIA A ESTRESSES BIÓTICOS E ABIÓTICOS

Os bioinsumos também podem contribuir para maior tolerância das forrageiras a estresses bióticos e abióticos. Microrganismos associados ao solo e às plantas podem favorecer a estruturação do solo, aumentar a disponibilidade de nutrientes, produzir substâncias promotoras de crescimento e induzir mecanismos de resistência sistêmica, auxiliando a manutenção do desenvolvimento vegetal em condições adversas (Chauhan et al., 2023).

Inoculantes microbianos e bioestimulantes têm sido relacionados ao fortalecimento de respostas fisiológicas das plantas sob condições de estresse. A inoculação com *Pseudomonas stutzeri* ISE12, por exemplo, favoreceu a germinação, o vigor de plântulas e o crescimento de *Sorghum bicolor* sob salinidade. De forma semelhante, extratos de algas marinhas têm sido associados ao aumento da tolerância a estresses ambientais por meio de alterações fisiológicas e metabólicas nas plantas (Pereira; Aroca; Cornejo, 2025; Kumar et al., 2024).

No contexto das pastagens, esse efeito é especialmente relevante em ambientes sujeitos a déficit hídrico, variações térmicas, baixa fertilidade natural do solo e períodos de menor crescimento vegetal. Assim, o uso de bioinsumos pode contribuir para aumentar a resiliência das forrageiras, des-

de que integrado a práticas adequadas de manejo do solo, adubação, escolha da espécie forrageira e ajuste da intensidade de uso da pastagem.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os bioinsumos têm se consolidado como ferramentas estratégicas para a intensificação sustentável de sistemas de produção forrageira, oferecendo alternativas aos insumos químicos convencionais. Microrganismos promotores de crescimento vegetal, biofertilizantes, biodefensivos e bioestimulantes contribuem para o aumento da produtividade, eficiência nutricional e qualidade da biomassa.

A promoção do crescimento da parte aérea e do sistema radicular, associada à maior eficiência nutricional, constitui um dos principais mecanismos pelos quais os bioinsumos contribuem para a sustentabilidade econômica e ambiental das pastagens. Além disso, a utilização adequada desses insumos fortalece a tolerância das plantas a estresses bióticos e abióticos.

A adoção adequada de bioinsumos promove a saúde do solo, estimula a diversidade microbiana e contribui para a redução de impactos ambientais. A integração de diferentes bioinsumos e o manejo conforme condições edafoclimáticas locais potencializam seus efeitos, garantindo resultados consistentes em produtividade e qualidade da forragem.

Dessa forma, essas práticas biotecnológicas representam um caminho viável para sistemas agropecuários mais resilientes, eficientes e ambientalmente responsáveis. Por fim, a difusão e adoção desses insumos no campo dependem de políticas de incentivo, capacitação técnica e pesquisa contínua, consolidando a agricultura de base ecológica como modelo de produção sustentável.

DECLARAÇÃO DE USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Os autores declaram que utilizaram a ferramenta ChatGPT, da OpenAI, modelo GPT-5.5 Thinking, como apoio na elaboração deste capítulo, especialmente na organização textual, revisão da redação acadêmica e elaboração de figuras, esquemas e elementos visuais.

Todo o conteúdo textual e visual produzido com apoio da IA foi revisado, ajustado e validado pelos autores, que assumem integral responsabilidade pelo capítulo. A Inteligência Artificial não foi considerada autora ou coautora.

REFERÊNCIAS

AKDAĞ, N.; SANCAK, C.; TELCI KAHRAMANOĞULLARI, C. Biostimulants for sustainable agriculture in forage crops. **Soil Studies**, v. 13, n. 2, p. 119-130, 2024. DOI: 10.21657/soilst.1601789.

ANSARI, M. F.; TIPRE, D. R.; DAVE, S. R. Evaluation of commercial liquid biofertilizers for growth of Cicer arietinum (chickpea) in pot and field studies. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 4, p. 17-24, 2015. DOI: 10.1016/j.bcab.2014.09.010.

BAHUGUNA, A.; SHARMA, S.; RAI, A.; BHARDWAJ, R.; SAHOO, S. K.; PANDEY, A.; YADAV, B. Advanced technologies for bio-stimulants in agriculture. In: SINGH, H. B.; VAISHNAV, A. (ed.). **New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering**. Amsterdam: Elsevier, 2022. p. 393-412. DOI: 10.1016/B978-0-323-85581-5.00010-0.

BASHAN, Y.; DE-BASHAN, L. E.; PRABHU, S. R.; HERNANDEZ, J. P. Advances in plant growth-promoting bacterial inoculant technology: formulations and practical perspectives (1998-2013). **Plant and Soil**, v. 378, n. 1-2, p. 1-33, 2014.

BENDER, S. F.; VAN DER HEIJDEN, M. G. A. Mycorrhizal effects on nutrient cycling, nutrient leaching and N2O production in experimental grassland. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 80, p. 283-292, 2015.

BERÇA, A. S.; CARDOSO, A. D. S.; LONGHINI, V. Z.; TEDESCHI, L. O.; BODDEY, R. M.; REIS, R. A.; RUGGIERI, A. C. Protein and carbohydrate fractions in warm-season pastures: effects of nitrogen management strategies. **Agronomy**, v. 11, n. 5, art. 847, 2021. DOI: 10.3390/agronomy11050847.

BRASIL. Decreto nº 10.375, de 26 de maio de 2020. Institui o Programa Nacional de **Bioinsumos e o Conselho Estratégico do Programa Nacional de Bioinsumos.** Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 27 maio 2020. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/d10375.htm. Acesso em: 10 jan. 2026.

BRASIL. Lei nº 15.070, de 23 de dezembro de 2024. **Dispõe sobre a produção, a importação, a exportação, o registro, a comercialização, o uso, a inspeção, a fiscalização, a pesquisa, a experimentação, a embalagem, a rotulagem, a propaganda, o transporte, o armazenamento e os incentivos à produção de bioinsumos**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23 dez. 2024.

CAVALCANTE, L. F.; BEZERRA, F. T. C.; DE LUNA SOUTO, A. G.; BEZERRA, M. A. F.; DE LIMA, G. S.; GHEYI, H. R.; DA SILVA PEREIRA, J. F.; BECKMANN CAVALCANTE, M. Z. Biofertilizers in horticultural crops. **Comunicata Scientiae**, v. 10, n. 4, p. 415-428, 2019.

CHAUHAN, P.; SHARMA, N.; TAPWAL, A.; KUMAR, A.; VERMA, G. S.; MEENA, M.; SETH, C. S.; SWAPNIL, P. Soil microbiome: diversity, benefits and interactions with plants. **Sustainability**, v. 15, n. 19, art. 14643, 2023.

COSTA, F. S.; MORAES, A. S.; FERREIRA, N. S.; BORGES, W. L. Viabilidade técnica do uso de biofertilizantes para melhoria das características químicas do solo. **Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 16, n. 3, 2021.

DE BEER, J. M.; SWANEPOEL, P.; VAN ZYL, J.; STEYN, L. Biostimulant effects on the herbage yield and nutritive composition of a mixed ryegrass-clover pasture. **African Journal of Range and Forage Science**, p. 1-8, 2023. DOI: 10.2989/10220119.2023.2208612.

DE SOUZA BATISTA, C.; PEREIRA MACIEL, R.; SOUZA ALVES, K.; SHIGUERU OKUMURA, R.; DE JESUS COELHO, G.; MAIA DOS SANTOS, P. Tecnologias sustentáveis na agropecuária brasileira: o uso de biofertilizantes em pastagens tropicais. **Agri-Environmental Sciences**, v. 10, n. 1, p. 11, 2025. DOI: 10.36725/agries.v10i1.9695.

DELAETER, M.; GIANINAZZI, S.; TURNAU, K.; LINGUA, G. Arbuscular mycorrhizal fungi as biostimulant and biocontrol agents: a review. **Microorganisms**, v. 12, n. 7, art. 1281, 2024. DOI: 10.3390/microorganisms12071281.

DROBEK, M.; FRĄC, M.; CYBULSKA, J. Plant biostimulants: importance of the quality and yield of horticultural crops and the improvement of plant tolerance to abiotic stress: a review. **Agronomy**, v. 9, n. 6, art. 335, 2019. DOI: 10.3390/agronomy9060335.

DU JARDIN, P. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. **Scientia Horticulturae**, v. 196, p. 3-14, 2015. DOI: 10.1016/j.scienta.2015.09.021.

DUARTE, C. F. D.; CECATO, U.; HUNGRIA, M.; FERNANDES, H. J. S.; BISERRA, T. T.; MAMÉDIO, D.; GALBEIRO, S.; NOGUEIRA, M. A. Inoculation of plant growth-promoting bacteria in Urochloa ruziziensis. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, e5978, 2023. DOI: 10.33448/rsd-v9i8.5978.

FIGUEIREDO, M. V. B.; SELDIN, L.; ARAÚJO, F. F.; RAMOS MARIANO, R. L. Plant growth promoting rhizobacteria: fundamentals and applications. In: MAHESHWARI, D. K. (ed.). **Plant Growth and Health Promoting Bacteria**. Berlin: Springer, 2010. p. 21-43.

FREITAS, G. S.; MOREIRA, A.; PRUDENCIO, M. F.; HEINRICHS, R.; NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M.; SOARES FILHO, C. V. Foliar spray inoculation with plant growth promoting bacteria associated with nitrogen doses in Megathyrsus maximus cv. BRS Zuri. **Agronomy**, v. 13, n. 4, art. 1040, 2023. DOI: 10.3390/agronomy13041040.

GUIMARÃES, G. S.; RONDINA, A. B. L.; OLIVEIRA JUNIOR, A. G. de; JANK, L.; NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M. Inoculation with plant growth-promoting bacteria improves the sustainability of tropical pastures with Megathyrsus maximus. **Agronomy**, v. 13, n. 3, art. 734, 2023. DOI: 10.3390/agronomy13030734.

GUIMARÃES, S. L. et al. Bactérias promotoras do crescimento vegetal: mecanismos e aplicações. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 46, e0210123, 2022.

HEINRICHS, R.; SOARES, L. H.; CORSI, M.; MOREIRA, A.; CANTARELLA, H. Azospirillum brasilense e a produção de massa seca e estado nutricional em Urochloa brizantha cv. Marandu. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 41, n. 2, p. 465-478, 2020. DOI: 10.5433/1679-0359.2020v41n2p465.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAÚJO, R. S. Co-inoculação de sementes de soja com Bradyrhizobium spp. e Azospirillum brasilense: uma nova ferramenta biotecnológica para melhorar o rendimento e a sustentabilidade. **American Journal of Plant Sciences**, v. 6, p. 811-817, 2015.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAÚJO, R. S. Inoculation of Brachiaria spp. with the plant growth-promoting bacterium Azospirillum brasilense: an environment-friendly strategy to improve plant performance and reduce nitrogen fertilizer costs. **Applied Soil Ecology**, v. 104, p. 1-10, 2016a.

KHARE, E.; ARORA, N. K. Effects of soil environment on field efficacy of microbial inoculants. In: ARORA, N. K. (ed.). Plant Microbes Symbiosis: **Applied Facets. New Delhi: Springer**, 2015. p. 353-381.

KÖHL, J.; KOLNAAR, R.; RAVENSBERG, W. J. Mode of action of microbial biological control agents against plant diseases: relevance beyond efficacy. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, art. 845, 2019. DOI: 10.3389/fpls.2019.00845.

KOUR, D.; RANA, K. L.; KAUR, T.; YADAV, N.; HALDER, S. K.; YADAV, A. N.; SACHAN, S. G.; SAXENA, A. K. Potassium solubilizing and mobilizing microbes: biodiversity, mechanisms of solubilization, and biotechnological implication for alleviations of abiotic stress. In: RASTEGARI, A. A.; YADAV, A. N.; YADAV, N. (ed.). **New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering. Amsterdam**: Elsevier, 2020. p. 177-202. DOI: 10.1016/B978-0-12-820526-6.00012-9.

KUMAR, G.; NANDA, S.; SINGH, S. K.; KUMAR, S.; SINGH, D.; SINGH, B. N. et al. Seaweed extracts: enhancing plant resilience to biotic and abiotic stresses. **Frontiers in Marine Science**, v. 11, 2024. DOI: 10.3389/fmars.2024.1457500.

KUMAR, P.; KAMLE, M.; BORAH, R.; MAHATO, D. K.; SHARMA, B. Bacillus thuringiensis as microbial biopesticide: uses and application for sustainable agriculture. **Egyptian Journal of Biological Pest Control**, v. 31, art. 95, 2021. DOI: 10.1186/s41938-021-00440-3.

LEITE, R. C.; SANTOS, A. C. dos et al. Produtividade de *Megathyrsus maximus* cv. Mombaça inoculado com *Azospirillum brasilense* e adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 43, e0180234, 2019b. DOI: 10.1590/18069657rbcs20180234.

LEITE, R. C.; SANTOS, J. G. D. dos; SILVA, E. L.; ALVES, C. R. C. R.; HUNGRIA, M.; SANTOS, A. C. dos. Productivity increase, reduction of nitrogen fertiliser use and drought-stress mitigation by inoculation of Marandu grass (*Urochloa brizantha*) with Azospirillum brasilense. **Crop and Pasture Science**, v. 70, p. 61-67, 2019a. DOI: 10.1071/CP18105.

LINDSTRÖM, K.; MOUSAVI, S. A. Effectiveness of nitrogen fixation in rhizobia. **Microbial Biotechnology**, v. 13, n. 5, p. 1314-1335, 2020. DOI: 10.1111/1751-7915.13517.

MAHANTY, T.; BHATTACHARJEE, S.; GOSWAMI, M.; BHATTACHARYYA, P.; DAS, B.; GHOSH, A.; TRIBEDI, P. Biofertilizers: a potential approach for sustainable agriculture development. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, p. 3315-3335, 2017. DOI: 10.1007/s11356-016-8104-0.

MANRIQUE, A. E. R.; MAZZUCHELLI, R. C. L.; ARAÚJO, A. S. F.; ARAÚJO, F. F. Condicionamento e revestimento de sementes de *Urochloa brizantha* associados à inoculação com *Bacillus subtilis*. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 49, e55536, 2019. DOI: 10.1590/1983-40632019v4955536.

MAURYA, B. R.; MEENA, V. S.; MEENA, O. P. **Potassium solubilizing microorganisms for sustainable agriculture.** New Delhi: Springer India, 2016.

MOREIRA, F. M. de S.; SILVA, K. da; NÓBREGA, R. S. A.; CARVALHO, F. de. Bactérias diazotróficas associativas: diversidade, ecologia e potencial de aplicações. **Comunicata Scientiae**, v. 1, n. 2, p. 74-99, 2010.

OLANIYAN, F. T.; ALORI, E. T.; ADEKIYA, A. O.; AYORINDE, B. B.; DARAMOLA, F. Y.; OSEMWEGIE, O. O.; BABALOLA, O. O. The use of soil microbial potassium solubilizers in potassium nutrient availability in soil and its dynamics. **Annals of Microbiology**, v. 72, art. 45, 2022. DOI: 10.1186/s13213-022-01701-8.

PANG, F.; LI, Q.; SOLANKI, M. K.; WANG, Z.; XING, Y.-X.; DONG, D.-F. Soil phosphorus transformation and plant uptake driven by phosphate-solubilizing microorganisms. **Frontiers in Microbiology**, v. 15, art. 1383813, 2024. DOI: 10.3389/fmicb.2024.1383813.

PEREIRA, S. I. A.; AROCA, R.; CORNEJO, P. Editorial: use of biostimulants in beneficial plant-microbe interactions. **Frontiers in Plant Science**, v. 16, art. 1592681, 2025. DOI: 10.3389/fpls.2025.1592681.

QUILLE, P.; KACPRZYK, J.; O'CONNELL, S.; NG, C. K.-Y. The role of an Ascophyllum nodosum extract in lowering the environmental impact and improving nitrogen use efficiency in pasture systems under a reduced nitrogen regime. **Journal of Applied Phycology**, v. 36, p. 1533-1544, 2024. DOI: 10.1007/s10811-024-03182-5.

RODRIGUES, S.; DIOGO, B. S.; ANTUNES, S. C.; LOURENÇO, I. Biopesticidas: desafios para a investigação. **Revista de Ciência Elementar**, v. 11, n. 2, art. 019, 2023. DOI: 10.24927/rce2023.019.

SCHIATTONE, M.; VIGGIANI, R.; DI VENERE, D.; SERGIO, L.; CANTORE, V.; TODOROVIC, M.; PERNIOLA, M.; CANDIDO, V. Impact of irrigation regime and nitrogen rate on yield, quality and water use efficiency of wild rocket under greenhouse conditions. **Scientia Horticulturae**, v. 229, p. 182-192, 2018.

SHAHWAR, D.; MUSHTAQ, Z.; MUSHTAQ, H.; ALQARAWI, A. A.; PARK, Y.; ALSHAHRANI, T. S.; FAIZAN, S. Role of microbial inoculants as biofertilizers for improving crop productivity: a review. **Heliyon**, v. 9, n. 6, e16134, 2023. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e16134.

SHARMA, A.; VERMA, R.; SINGH, J. et al. Microbial interactions in nutrient cycling: implications for sustainable crop production. **Agronomy**, v. 14, n. 2, art. 245, 2024.

SILVA, L. I. da; PEREIRA, M. C.; CARVALHO, A. M. X. de; BUTTRÓS, V. H.; PASQUAL, M.; DÓRIA, J. Phosphorus-solubilizing microorganisms: a key to sustainable agriculture. **Agriculture**, v. 13, n. 2, art. 462, 2023. DOI: 10.3390/agriculture13020462.

SILVA, T. F.; MELLONI, R.; PEREIRA MELLONI, E. G.; GONÇALVES, E. D. Bactérias diazotróficas não simbióticas e enraizamento de estacas semilenhosas de oliveira. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 1, p. 61-71, 2017.

SON, Y.; MARTÍNEZ, C. E.; KAO-KNIFFIN, J. Three important roles and chemical properties of glomalin-related soil protein. Frontiers in Soil Science, v. 4, art. 1418072, 2024. DOI: 10.3389/fsoil.2024.1418072.

VIEIRA, C. L.; SOUZA, R. M.; LIMA, S. F.; OLIVEIRA, A. L. M. Assessment of the effect of Azospirillum brasilense inoculated via seeds on the growth and production of Mombaça grass. **Scientific Electronic Archives**, 2023.

WAHAB, A.; MUHAMMAD, M.; MUNIR, A.; ABDI, G.; ZAMAN, W.; AYAZ, A.; KHIZAR, C.; REDDY, S. P. P. Role of arbuscular mycorrhizal fungi in regulating growth, enhancing productivity, and potentially influencing ecosystems under abiotic and biotic stresses. **Plants**, v. 12, n. 17, art. 3102, 2023. DOI: 10.3390/plants12173102.

WU, Y.; CHEN, C.; WANG, G. Arbuscular mycorrhizal fungi inoculation improves plant biomass and nitrogen and phosphorus nutrients: a meta-analysis. **BMC Plant Biology**, v. 24, art. 960, 2024. DOI: 10.1186/s12870-024-05638-9.

YADAV, A. N. Potassium-solubilizing microorganisms for agricultural sustainability. **Journal of Applied Biology and Biotechnology**, 2022.

ZAMAN, M.; KUREPIN, L. V.; CATTO, W.; PHARIS, R. P. Evaluating the use of plant hormones and biostimulators in forage pastures. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 96, n. 3, p. 715-726, 2016.

SILAGEM DE FORRAGEIRAS TROPICAIS

10.56238/livrosindi2026111-007

Lucas Totoli de Carvalho
Abnner Josué Costa Clementino
Clarice Backes
José Henrique da Silva Taveira
Alessandro José Marques Santos

1 INTRODUÇÃO

A produção animal no Brasil baseada em pastagens enfrenta diversos desafios, devido à diversidade de condições edafoclimáticas inerentes às características regionais de sua extensão territorial. O desenvolvimento morfológico e estrutural das forrageiras é altamente influenciado por fatores abióticos, como luz, temperatura, fertilidade do solo e disponibilidade hídrica, que determinam a estacionalidade produtiva (Vidal et al., 2025). Enquanto o Sul enfrenta o vazio forrageiro invernal devido às geadas, o Nordeste e o Centro-Oeste lidam com déficits hídricos acentuados que limitam o crescimento vegetativo das plantas forrageiras (Santos et al., 2025).

Essa sazonalidade acarreta redução na produção de forragem ao longo do ano, comprometendo a regularidade da oferta de alimento aos animais. Nesse contexto, as técnicas de conservação de forragens, como silagem, fenação e pré-secagem, tornam-se estratégias fundamentais para minimizar os efeitos da estacionalidade, permitindo conservar parte da produção excedente do período favorável e utilizá-la nos momentos de escassez, com manutenção do valor nutritivo e da digestibilidade (Jobim et al., 2014; Santos et al., 2025).

A escolha do método de conservação depende de fatores como espécie forrageira, teor de umidade da planta no momento da colheita, disponibilidade de máquinas, condições climáticas, escala de produção, estrutura de armazenamento e objetivo do sistema produtivo. Entre essas alternativas, a fenação, a pré-secagem e a ensilagem apresentam princípios distintos de conservação, mas compartilham o mesmo propósito: preservar a qualidade da forragem e garantir maior segurança alimentar ao rebanho durante períodos críticos (Jobim et al., 2014; Borba et al., 2025).

As principais técnicas de conservação de forragens diferem quanto ao teor de umidade da planta, ao tipo de processamento e à forma de armazenamento, mas têm como objetivo comum preservar o valor nutritivo do alimento para uso em períodos de menor disponibilidade de pasto, conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1. Principais métodos de conservação de forragens utilizados em sistemas de produção animal.



Fonte: Elaboração própria, com base em Jobim et al. (2014), Pereira e Reis (2001), Pereira et al. (2008) e Borba et al. (2025).

A fenação consiste na secagem de uma forrageira com alta umidade até a obtenção de feno, geralmente com teor entre 10% e 20% de umidade, condição que dificulta o desenvolvimento microbiano. Esse processo envolve três etapas principais: o corte da forragem, realizado com auxílio de máquinas como tratores e segadeiras; a secagem da planta, normalmente ao sol, com revolvimento para favorecer a perda uniforme de água e reduzir o risco de proliferação de fungos; e o enfardamento, que consiste na compactação da forragem em fardos para facilitar o transporte e o armazenamento (Borba et al., 2025).

O processo de pré-secagem, ou *haylage*, posiciona-se como alternativa intermediária entre a fenação e a ensilagem, devido ao teor de matéria seca próximo de 45%, obtido por meio da desidratação parcial da forragem, seguida de trituração, compactação e armazenamento. Esse material geralmente é armazenado em fardos revestidos ou estruturas específicas, formando ambiente anaeróbio que favorece a fermentação e o desenvolvimento de bactérias ácido-láticas, contribuindo para a conservação do alimento (Pereira; Reis, 2001).

Contudo, no cenário de grandes volumes de massa forrageira e necessidade de alta eficiência operacional, a ensilagem destaca-se como um dos métodos mais difundidos. Esse processo consiste na colheita do material com teor de umidade geralmente superior a 60%, seguida pelo processamento físico da fibra, ajuste do tamanho de partículas, compactação e armazenamento em silo. Após a vedação, estabelece-se ambiente anaeróbio, no qual ocorre a produção de ácidos orgânicos, especialmente ácido lático, com redução do pH e inibição do crescimento de microrganismos indesejáveis, possibilitando a conservação da forragem (Pereira et al., 2008; Kung Jr. et al., 2018).

Diante da importância da conservação de forragens para a regularidade da alimentação animal em sistemas tropicais, este capítulo tem como objetivo apresentar os principais fundamentos técnicos

relacionados à produção de silagem de forrageiras tropicais, abordando as espécies mais utilizadas, suas características produtivas e nutricionais, os aspectos operacionais de colheita, processamento, compactação e vedação, bem como os processos fermentativos, os indicadores de qualidade, a estabilidade aeróbia e as aplicações da silagem na alimentação de ruminantes.

2 PRINCIPAIS ESPÉCIES UTILIZADAS PARA ENSILAGEM EM SISTEMAS TROPICAIS

No Brasil, diversas espécies vegetais podem ser utilizadas para ensilagem, em função da ampla diversidade edafoclimática e dos diferentes sistemas de produção existentes no país. No entanto, algumas culturas se destacam pela qualidade nutricional, adaptação a diferentes condições ambientais, produtividade de biomassa e facilidade de conservação. Entre as principais espécies utilizadas para essa finalidade estão o milho, o sorgo, a cana-de-açúcar e os capins tropicais, especialmente o capim-elefante (Fluck et al., 2025; Pinedo et al., 2025; Assis et al., 2025; Ott; Quintanilha, 2025).

A silagem de milho destaca-se como uma das principais opções para a alimentação de ruminantes, devido ao elevado valor nutritivo, boa produtividade, viabilidade econômica de cultivo e excelente perfil fermentativo. O milho é cultivado em diversas regiões do país, em razão de sua adaptação a diferentes condições climáticas e tipos de solo. Além disso, a elevada participação da espiga na planta contribui para o aumento do teor energético da silagem, tornando essa cultura uma das alternativas mais indicadas para o processo de ensilagem (Fluck et al., 2025).

O sorgo tem sido cada vez mais utilizado como alternativa ao milho, por apresentar características agronômicas e nutricionais semelhantes, além de maior tolerância a condições de déficit hídrico. As variedades graníferas e forrageiras são amplamente empregadas na produção de silagem, contribuindo para o aumento do valor energético e do teor de matéria seca do material ensilado. O sorgo também se destaca pela possibilidade de ensilagem da rebrota, tolerância a solos de menor fertilidade e menor exigência hídrica, características que favorecem sua adoção em sistemas de produção com menor nível de tecnificação (Pinedo et al., 2025).

Entretanto, a presença de taninos em algumas cultivares de sorgo pode representar uma limitação nutricional, uma vez que esses compostos atuam como fatores antinutricionais, interferindo na digestibilidade dos nutrientes e na palatabilidade da silagem. Atualmente, existem cultivares com menores teores de tanino, o que reduz esse efeito negativo e amplia o potencial de uso da cultura na ensilagem (Pinedo et al., 2025). De forma sucinta, os taninos podem formar complexos com proteínas, afetando sua disponibilidade no trato digestivo. Essa interação está relacionada à formação de pontes de hidrogênio e a interações hidrofóbicas entre essas moléculas (Furlan et al., 2006).

A cana-de-açúcar constitui uma estratégia importante para o fornecimento de volumoso durante períodos de escassez de pastagens em regiões tropicais. Essa cultura apresenta elevada produção de biomassa e acúmulo de carboidratos solúveis, principalmente energia, no período em que a disponibilidade de pasto é reduzida. No entanto, possui baixo teor de proteína bruta e minerais, o que exige planejamento nutricional adequado, com uso de suplementação ou aditivos quando necessário. Um dos principais desafios da ensilagem da cana-de-açúcar é a perda de matéria seca decorrente da fermentação alcoólica, que pode comprometer o valor nutritivo do material ensilado. Nesse sentido,

o uso de aditivos pode contribuir para reduzir essas perdas, controlar a produção de etanol e melhorar a estabilidade fermentativa ao longo do armazenamento (Assis et al., 2025; Campos et al., 2026).

A ensilagem de capins tropicais também apresenta trajetória consolidada no Brasil, com estudos conduzidos desde a década de 1970 e crescente destaque nos sistemas atuais de produção. Entre essas forrageiras, o capim-elefante é uma das espécies mais estudadas, especialmente pela elevada produtividade de biomassa. Apesar de apresentar teores consideráveis de carboidratos solúveis, entre 9% e 16% da matéria seca, e alto potencial produtivo, essa espécie geralmente possui baixo teor de matéria seca no momento ideal de corte, podendo apresentar valores inferiores a 15%. Essa condição favorece a fermentação butírica, o aumento da produção de efluentes e maiores perdas durante o armazenamento, representando importante desafio nutricional e de manejo para a produção de silagem de qualidade (Ott; Quintanilha, 2025).

As espécies utilizadas para ensilagem em sistemas tropicais apresentam diferenças quanto ao valor nutritivo, produtividade, exigência hídrica, teor de matéria seca e perfil fermentativo. Essas características devem ser consideradas na escolha da cultura mais adequada ao sistema de produção, conforme sintetizado na Figura 2.

Figura 2. Principais espécies forrageiras utilizadas para ensilagem em sistemas tropicais.



Fonte: Elaboração própria, com base em Fluck et al. (2025), Pinedo et al. (2025), Assis et al. (2025), Campos et al. (2026), Ott e Quintanilha (2025) e Confederação Nacional da Agricultura (2023).

2.1 COMPOSIÇÃO QUÍMICO-BROMATOLÓGICA E VALOR NUTRITIVO DAS SILAGENS

Após a caracterização das principais espécies utilizadas para ensilagem em sistemas tropicais, torna-se necessário compreender como a composição químico-bromatológica desses materiais interfere na qualidade final da silagem e no seu potencial de utilização na alimentação animal. A silagem

tem como objetivo principal conservar, pelo maior tempo possível, o valor nutricional da forragem fresca para uso em períodos de escassez. No entanto, diversos fatores podem afetar esse processo, incluindo o dimensionamento do silo, a compactação, o tamanho de partícula, a vedação e as características intrínsecas do material ensilado, como teor de matéria seca, população microbiana epifítica, concentração de carboidratos solúveis, capacidade tampão e produção de ácidos orgânicos (Moraes et al., 2013; Macêdo et al., 2017).

O valor nutritivo da silagem depende, principalmente, da espécie forrageira utilizada, uma vez que as características químicas e estruturais variam entre os materiais. Conforme apresentado anteriormente, milho, sorgo e capim-elefante estão entre as principais espécies utilizadas para ensilagem em sistemas tropicais. A silagem de milho geralmente apresenta maior valor nutritivo, devido à maior participação de grãos e ao maior teor energético. O sorgo, embora apresente menor digestibilidade em comparação ao milho, pode atingir entre 70% e 90% do valor nutritivo da silagem de milho, além de apresentar vantagens agronômicas, como maior tolerância ao déficit hídrico e possibilidade de aproveitamento da rebrota. Já a silagem de capim-elefante apresenta menor valor energético em relação ao milho e ao sorgo, mas constitui alternativa estratégica para armazenar o excedente de produção do período chuvoso e utilizá-lo durante a seca (Embrapa, 2013; Daniel; Zopollatto; Nussio, 2011).

Ao avaliar os principais indicadores bromatológicos da silagem de milho superprecoce, Vieira et al. (2013) observaram valores médios de 7,5% de proteína bruta (PB), 30,5% de matéria seca (MS), 57,2% de fibra em detergente neutro (FDN), 28,8% de fibra em detergente ácido (FDA) e 67,9% de nutrientes digestíveis totais (NDT). Em estudo posterior, Pereira et al. (2025), ao analisarem a produção de biomassa e a composição bromatológica do milho para silagem em diferentes fases reprodutivas, encontraram valores semelhantes no ponto de ensilagem, com 8,1% de PB, MS próxima a 30%, 44,3% de FDN e 26,77% de FDA.

Para a silagem de sorgo, Marinho et al. (2023), ao avaliarem diferentes doses de inoculante, observaram no tratamento controle valores de 6,31% de PB, 30,38% de MS, 59,68% de FDN e 35,67% de FDA. Resultados semelhantes foram relatados por Ortiz et al. (2021), que encontraram valores médios de 8,25% de PB, 33,97% de MS, 58,50% de FDN, 24,4% de FDA e 65,51% de NDT.

Esses resultados indicam que, embora a silagem de sorgo possa apresentar teores de PB e NDT próximos aos do milho, seus maiores teores de FDN e FDA podem limitar a digestibilidade e reduzir o consumo de matéria seca pelos animais, quando comparada à silagem de milho (Kozloski et al., 2006).

A cana-de-açúcar, embora não esteja incluída na Tabela 1 por ausência de padronização dos mesmos indicadores nos dados comparativos utilizados, também deve ser considerada na avaliação nutricional das silagens tropicais. Esse material apresenta elevada concentração de carboidratos solúveis e bom potencial energético, porém possui baixo teor de proteína bruta e minerais, além de maior risco de perdas fermentativas associadas à produção de etanol. Por isso, sua utilização como silagem exige planejamento nutricional e, frequentemente, o emprego de aditivos ou suplementação para melhorar o perfil fermentativo e corrigir limitações nutricionais (Assis et al., 2025; Campos et al., 2026).

Em relação ao capim-elefante, Aguirre et al. (2024), ao avaliarem a qualidade da silagem com uso de diferentes inoculantes, observaram teor médio de 17% de MS, considerado baixo para uma fermentação adequada. Essa condição favorece perdas de matéria seca, como observado no tratamen-

to controle, em que a perda média foi de 13,6%. O teor de PB foi de 10,2%, superior ao observado para milho e sorgo; entretanto, os teores de FDN e FDA foram mais elevados, com valores de 65,1% e 50,8%, respectivamente. Esses resultados indicam maior participação de componentes da parede celular, o que pode reduzir a digestibilidade, limitar o consumo voluntário e comprometer o aproveitamento nutricional da silagem.

Nesse sentido, a comparação dos perfis bromatológicos apresentados na Tabela 1 evidencia que o sorgo ocupa posição intermediária entre o milho e o capim-elefante. Embora apresente valores de FDN próximos aos do milho, as variações no teor de FDA podem influenciar a digestibilidade e a taxa de passagem ruminal. Por outro lado, o capim-elefante, apesar do maior teor de proteína bruta, apresenta limitação associada ao elevado teor de FDA, indicando maior proporção de frações fibrosas de menor digestibilidade. A cana-de-açúcar deve ser discutida de forma complementar, pois sua principal limitação está associada ao baixo teor proteico e à fermentação alcoólica, mais do que aos mesmos indicadores apresentados para milho, sorgo e capim-elefante (Vieira et al., 2013; Marinho et al., 2023; Aguirre et al., 2024; Ortiz et al., 2021; Pereira et al., 2025).

Tabela 1. Composição químico-bromatológica média de silagens de milho, sorgo e capim-elefante utilizadas em sistemas tropicais.

Forrageira	MS (%)	PB (%)	FDN (%)	FDA (%)
Milho Vieira et al. (2013); Pereira et al. (2025)	30,5	7,5 – 8,1	44,3 – 57,2	26,8 – 28,8
Sorgo Marinho et al. (2023); Ortiz et al. (2021)	30,4 – 34,0	6,3 – 8,3	58,5 – 59,7	24,4 – 35,7
Capim-elefante Aguirre et al. (2024)	17	10,2	65,1	50,8

MS: Matéria Seca; PB: Proteína Bruta; FDN: Fibra em Detergente Neutro; FDA: Fibra em Detergente Ácido; NDT: Nutrientes Digestíveis Totais. Fonte: Adaptado de Vieira et al. (2013), Marinho et al. (2023), Aguirre et al. (2024), Ortiz et al. (2021) e Pereira et al. (2025).

2.2 POTENCIAL PRODUTIVO E ADAPTAÇÃO DAS ESPÉCIES FORRAGEIRAS

Além da composição químico-bromatológica, a escolha da espécie para ensilagem também deve considerar o potencial produtivo, a adaptação às condições edafoclimáticas e a estabilidade de produção ao longo do ano. Milho, sorgo, cana-de-açúcar e capim-elefante apresentam ampla utilização em sistemas tropicais, embora diferem quanto ao valor nutritivo, exigência hídrica, produtividade, risco fermentativo e necessidade de ajustes no manejo de colheita e armazenamento (Confederação Nacional da Agricultura, 2023; Pinedo et al., 2025; Assis et al., 2025).

O milho apresenta elevado potencial produtivo e bom valor nutritivo para produção de silagem. Entretanto, é uma cultura sensível às oscilações meteorológicas, especialmente nas fases iniciais de desenvolvimento, o que pode reduzir o acúmulo de biomassa e comprometer a produtividade final da silagem (Melo et al., 2019). A produtividade média do milho para silagem situa-se em torno de 40 toneladas de matéria natural por hectare, com produção de matéria seca podendo atingir aproximadamente 16 toneladas por hectare, variando conforme região, fertilidade do solo, tratos culturais e híbrido utilizado.

O sorgo, por sua vez, apresenta maior tolerância ao déficit hídrico em comparação ao milho, além de boa capacidade fermentativa e possibilidade de aproveitamento da rebrota. Essas características tornam essa cultura uma alternativa importante para regiões sujeitas a menor disponibilidade hídrica ou sistemas com menor nível de tecnificação. No entanto, a cultura apresenta algumas limitações, como maior sensibilidade ao frio, menor janela de corte e maior incidência de ataque de pássaros (Chaves et al., 2015). A produtividade média do sorgo para silagem varia de 30 a 40 toneladas de matéria natural por hectare, ou cerca de 14 toneladas de matéria seca por hectare no primeiro corte, podendo a rebrota atingir aproximadamente 60% da produção obtida no primeiro ciclo, dependendo da cultivar, da fertilidade do solo e das condições ambientais.

A cana-de-açúcar apresenta elevada produção de biomassa e boa adaptação às condições tropicais, constituindo alternativa estratégica para fornecimento de volumoso no período seco. Contudo, seu uso como silagem exige atenção ao perfil fermentativo, pois o alto teor de açúcares solúveis favorece a produção de etanol e perdas de matéria seca quando o processo não é adequadamente conduzido. Assim, a adoção de aditivos e o ajuste do manejo de ensilagem podem ser necessários para melhorar a conservação e o aproveitamento nutricional desse material (Assis et al., 2025; Campos et al., 2026).

A silagem de capins tropicais pode ser produzida a partir de diferentes cultivares, porém o capim-elefante se destaca entre as espécies mais utilizadas. Entre os materiais disponíveis, o BRS Capiaçu apresenta elevada produtividade de matéria seca, maior resistência ao tombamento e boa tolerância ao estresse hídrico. Entretanto, trata-se de uma cultivar exigente em fertilidade do solo, sendo recomendada para áreas com solos profundos, bem drenados e adequadamente corrigidos (Pereira et al., 2016).

Os capins tropicais destacam-se pela elevada produção de biomassa. Cultivares como Napier, Cameroon e MG12 podem alcançar produtividades próximas a 110 toneladas de matéria natural por hectare ao ano, correspondendo a aproximadamente 29 toneladas de matéria seca por hectare ao ano. Para o BRS Capiaçu, a produtividade pode atingir cerca de 300 toneladas de matéria natural por hectare ao ano, ou aproximadamente 50 toneladas de matéria seca por hectare ao ano. Em geral, o BRS Capiaçu permite de dois a três cortes anuais, enquanto outros capins tropicais podem possibilitar três a quatro cortes por ano, dependendo das condições de manejo e ambiente (Confederação Nacional da Agricultura, 2023).

3 MANEJO DA COLHEITA E ETAPAS OPERACIONAIS DA ENSILAGEM

A produção de silagem de qualidade depende não apenas da escolha da espécie forrageira, mas também do manejo adotado durante a colheita, processamento e armazenamento. O ponto de colheita, a altura de corte, o teor de matéria seca, o tamanho de partículas, o processamento dos grãos, a compactação e a vedação do silo são fatores determinantes para reduzir perdas, favorecer a fermentação adequada e preservar o valor nutritivo do material ensilado (Pereira et al., 2008; Borreani et al., 2018).

A agilidade no processo de colheita é essencial para a obtenção de silagem de boa qualidade. Após o corte, a planta permanece exposta ao oxigênio e continua realizando processos respiratórios, com consumo de carboidratos solúveis, que são importantes tanto para a fermentação quanto para o

valor nutricional do alimento. Dessa forma, o material deve permanecer o menor tempo possível em contato com o ar, reduzindo perdas de nutrientes e favorecendo o estabelecimento rápido de condições anaeróbias. Entre os fatores que mais influenciam o processo de ensilagem destacam-se o tipo de silo, as técnicas de enchimento, a compactação, a vedação, a presença de oxigênio, a temperatura e o tempo de armazenamento (Pereira et al., 2008).

A produção de silagem de qualidade depende da execução integrada das etapas de colheita, processamento, compactação, vedação e armazenamento, pois falhas em qualquer uma dessas fases podem comprometer a fermentação e aumentar as perdas de matéria seca. A sequência operacional da ensilagem está representada na Figura 3.

Figura 3. Etapas operacionais para produção de silagem de qualidade.



Fonte: Elaboração própria, com base em Pereira et al. (2008), Borreani et al. (2018), Bernardes et al. (2018), Kung Jr. et al. (2018) e Mahanna (2019).

3.1 ESTÁGIO DE MATURAÇÃO E PONTO IDEAL DE COLHEITA

A qualidade da silagem de milho é influenciada por diversos fatores, entre os quais o ponto de colheita se destaca como um dos mais importantes. A colheita antes do estágio adequado pode resultar em menor aproveitamento do amido e em fermentação excessivamente intensa, comprometendo o aproveitamento dos nutrientes. Por outro lado, com o avanço da maturidade da planta, ocorre aumento do teor de matéria seca, o que pode interferir na digestibilidade da silagem, na compactação do silo, na mistura da dieta total e no aproveitamento do amido pelos animais (Wandscheer et al., 2024; Kung Jr. et al., 2018).

O ponto ideal para ensilagem do milho ocorre quando a planta apresenta entre 30% e 35% de matéria seca e os grãos se encontram com aproximadamente dois terços da linha do leite. Essa condição permite melhor equilíbrio entre teor de umidade, participação de grãos, digestibilidade e

eficiência fermentativa, possibilitando a colheita de elevada proporção dos grãos e da parte vegetativa da planta (Wandscheer et al., 2024).

No sorgo, o momento ideal para ensilagem ocorre quando os grãos se encontram nos estágios pastoso a farináceo, condição em que a planta apresenta teor de matéria seca entre 28% e 35%. Esse intervalo favorece o processo fermentativo e contribui para a conservação adequada do material. Os teores de proteína bruta podem variar conforme o estágio de maturação, sendo observados maiores valores no estágio pastoso, enquanto o teor de matéria seca aumenta com o avanço da maturidade da planta (Pinedo et al., 2025).

Um aspecto importante no manejo do sorgo é sua menor janela de corte em relação ao milho, pois a maturação da panícula ocorre em curto intervalo, geralmente entre uma e duas semanas (Confederação Nacional da Agricultura, 2023).

Para silagens de capins tropicais, o ponto ideal de colheita está associado ao equilíbrio entre produtividade, teor de matéria seca e valor nutritivo. De modo geral, a colheita ocorre quando a planta apresenta aproximadamente 25% de matéria seca, maior proporção de folhas verdes e teor proteico mais elevado. Entretanto, nesse estágio, os capins geralmente apresentam elevada capacidade tampão, alto teor de umidade e baixa concentração de carboidratos solúveis, o que dificulta a queda rápida do pH e pode resultar em maior produção de gases e efluentes, aumento do nitrogênio amoniacal e desenvolvimento de microrganismos indesejáveis, como os do gênero *Clostridium* (Rigueira et al., 2013; Kung Jr. et al., 2018).

O pH da silagem é um dos principais indicativos da qualidade fermentativa. Valores entre 3,8 e 4,2 são geralmente associados a fermentações adequadas, com menores perdas e inibição do crescimento de microrganismos indesejáveis (Costa et al., 2025). Em capins tropicais, entretanto, a obtenção desses valores pode ser mais difícil em razão do maior teor de umidade e da menor concentração de carboidratos solúveis. Para ajustar o teor de matéria seca sem comprometer a qualidade da silagem, podem ser utilizados aditivos absorventes de umidade, como fubá de milho, farelo de trigo e polpa cítrica, de acordo com a disponibilidade regional (Gomes et al., 2025). Outra estratégia é o emurchecimento antes da ensilagem, que consiste no corte do capim e exposição ao sol por 6 a 12 horas, elevando o teor de matéria seca da forragem. Embora essa prática nem sempre permita atingir teores superiores a 30% de matéria seca, pode contribuir para a produção de silagens de melhor qualidade (Roco, 2025).

3.2 ALTURA DE CORTE, EMURCHECIMENTO E AJUSTE DO TEOR DE MATÉRIA SECA

A altura de corte é um fator que interfere diretamente na produtividade, na composição bromatológica e na qualidade final da silagem. O aumento da altura de corte tende a elevar a proporção de grãos no material colhido, aumentando o teor energético e reduzindo a participação de colmos e frações fibrosas. Como consequência, pode ocorrer melhora na digestibilidade, no valor nutritivo e no consumo voluntário pelos animais. Entretanto, cortes mais altos reduzem a quantidade de matéria seca colhida por área, sendo necessário avaliar o objetivo do sistema de produção para definir o equilíbrio entre produtividade e qualidade do material ensilado (Ferreira et al., 2025).

No milho, o melhoramento genético voltado ao aumento da produtividade tem resultado em cultivares com maior produção de matéria seca. Em alguns casos, isso pode estar associado ao au-

mento da fração fibrosa de menor digestibilidade, o que reforça a importância da definição da altura de corte no momento da ensilagem. O aumento da altura de corte permite maior controle da proporção de grãos em relação à fração vegetativa da planta, podendo melhorar a qualidade nutricional da silagem (Vianna; Mendonça, 2024; Nigon; Shinners; Cook, 2016).

Entre os diferentes tipos de silagem de milho, destacam-se o toplage, que corresponde ao corte da parte superior da planta juntamente com as espigas; o snaplage, obtido pelo corte das espigas com as palhas; o earlage, produzido a partir das espigas sem palha; e o stalklage, que corresponde à fração da planta sem as espigas. No caso da silagem de planta inteira, o corte convencional geralmente é realizado a aproximadamente 20 cm do solo, enquanto cortes mais altos podem atingir cerca de 60 cm, dependendo do objetivo nutricional e produtivo (Vianna; Mendonça, 2024; Nigon; Shinners; Cook, 2016).

Para o sorgo forrageiro, a altura de corte mais usual é de aproximadamente 20 cm.

No entanto, assim como ocorre no milho, o aumento da altura de corte pode melhorar a qualidade da silagem, reduzindo a concentração de lignina e aumentando a digestibilidade. Granados-Niño et al. (2021) observaram que cortes realizados até 40 cm acima do solo podem melhorar a qualidade do material sem comprometer significativamente a produtividade, enquanto o corte a 30 cm pode favorecer melhor padrão fermentativo.

Nos capins tropicais, a altura de corte para ensilagem é usualmente realizada rente ao solo ou até aproximadamente 10 cm, com o objetivo de favorecer a rebrota, o perfilhamento e a produtividade dos ciclos seguintes (Pereira et al., 2021). Contudo, cortes muito baixos podem aumentar a contaminação do material com solo e alterar a composição da silagem. Vital (2024), ao avaliar o valor nutritivo da silagem de BRS Capiaçu, observou alteração no teor de matéria orgânica, possivelmente associada ao corte rente ao solo, conforme recomendado em cartilhas técnicas da cultivar.

O teor de matéria seca é um dos principais pontos a serem considerados no momento da ensilagem. Silagens produzidas com materiais excessivamente úmidos apresentam maior risco de fermentações indesejáveis, perdas por efluentes e proliferação de microrganismos como os clostrídios (Oenning et al., 2025; Sepka et al., 2024). Assim, para forrageiras com elevado teor de umidade, a desidratação parcial ou emurchecimento constitui alternativa importante, pois reduz perdas por efluentes, limita o crescimento de microrganismos indesejáveis e melhora o perfil fermentativo da silagem (Roco, 2025).

3.3 PICAGEM, PROCESSAMENTO DE GRÃOS E TAMANHO DE PARTÍCULAS

Grande parte dos nutrientes digestíveis das silagens de milho e sorgo está associada ao amido presente no endosperma dos grãos. Para que esse amido seja adequadamente aproveitado pelos ruminantes, é necessário que os grãos sejam fragmentados em pequenas frações, permitindo maior exposição do endosperma à microbiota ruminal. Quando os grãos não são adequadamente processados, parte do amido pode não ser digerida no rúmen e no intestino, sendo eliminada nas fezes, o que representa perda nutricional e prejuízo econômico ao sistema produtivo. Nesse contexto, a avaliação do teor de amido nas fezes pode ser utilizada como ferramenta para verificar a digestibilidade do amido e auxiliar na correção de problemas relacionados ao processamento da silagem (Feldmann et al., 2023).

A eficiência do processamento dos grãos pode ser avaliada pelo teste de KPS, do inglês kernel processing score, ou escore de processamento de grãos. Esse método é utilizado para determinar o grau de fragmentação dos grãos e a disponibilidade do amido. Para a silagem de milho, utiliza-se peneira de 4,75 mm, sendo o resultado expresso como o percentual de amido processado que passa pela peneira. Valores superiores a 70% indicam ótimo processamento; valores entre 50% e 70% são considerados adequados; e valores inferiores a 50% indicam baixo grau de processamento da silagem (Feldmann et al., 2023).

Entretanto, esse índice não reflete adequadamente o processamento do sorgo, uma vez que seus grãos são menores que os grãos de milho (Duhatschek et al., 2025). Johnson (2017) propôs uma adaptação do método KPS para sorgo, utilizando peneira de 1,7 mm e considerando adequado o percentual de amido processado acima de 50%. De forma semelhante, McCary (2019) sugeriu a avaliação da porcentagem de amido que passa pela peneira de 2,36 mm, considerando que grande parte dos grãos cortados em um quarto do seu tamanho fica retida nessa malha. Apesar dessas propostas, ainda são necessários mais estudos para consolidar o uso do KPS como ferramenta de avaliação do processamento de grãos de sorgo.

Além do processamento dos grãos, a granulometria das partículas da forragem é determinante para a qualidade da silagem e para a saúde ruminal. Partículas excessivamente longas podem reduzir o consumo de matéria seca devido ao maior tempo de mastigação e ao efeito de enchimento ruminal. Por outro lado, partículas excessivamente finas podem comprometer a motilidade ruminal e reduzir a produção de saliva, predispondo os animais a distúrbios metabólicos (Barreta, 2020).

Para avaliar a distribuição física das partículas, utiliza-se o método Penn State Particle Separator (PSPS), desenvolvido pela Universidade Estadual da Pensilvânia. A versão atualizada utiliza um conjunto de quatro compartimentos sobrepostos, formado por três peneiras com malhas de 19 mm, 8 mm e 4 mm, além de um fundo coletor. Essa metodologia permite caracterizar fisicamente silagens de milho, pré-secados e dietas totais misturadas, contribuindo para o ajuste da homogeneidade física da dieta e para a estabilidade do ambiente ruminal. As especificações das malhas e os valores de referência para silagens e dietas totais misturadas são apresentados na Tabela 2 (Heinrichs; Jones, 2013).

Tabela 2. Recomendações de tamanho de partícula para silagem de milho, pré-secado e dieta total misturada (TMR).

Peneira	Tamanho	Silagem de milho	Pré-secado	TMR
Superior	19 mm	3 a 8%	10 a 20%	2 a 8%
Média	8 mm	45 a 65%	45 a 75%	30 a 50%
Inferior	4 mm	20 a 30%	30 a 40%	10 a 20%
Fundo		< 10%	< 10%	30 a 40%

Fonte: Adaptado de PennState Extension.

3.4 COMPACTAÇÃO, VEDAÇÃO E CONSERVAÇÃO ANAERÓBIA

A compactação é uma das etapas mais importantes do processo de ensilagem, pois tem como objetivo principal promover a rápida expulsão do oxigênio presente na massa ensilada. A redução da presença de ar favorece o estabelecimento da anaerobiose, condição essencial para o desenvolvimento das bactérias ácido-láticas e para a adequada conservação da forragem (Borreani et al., 2018; Bernardes et al., 2018).

A compactação inadequada prolonga a fase aeróbia inicial no interior do silo, permitindo a proliferação de leveduras, fungos e bactérias aeróbias. Esses microrganismos consomem rapidamente os carboidratos solúveis em água, convertendo-os em dióxido de carbono, calor e água. Como consequência, ocorre atraso na queda do pH e formação de ambiente favorável ao desenvolvimento de clostrídios e enterobactérias, microrganismos associados à fermentação butírica e à degradação da proteína verdadeira (Liu et al., 2024; Xu et al., 2024).

Além das perdas durante o armazenamento, a compactação mal-conduzida compromete a estabilidade aeróbia da silagem após a abertura do silo. Quando a massa ensilada apresenta elevada porosidade, o ar penetra com maior facilidade entre as camadas, promovendo respiração aeróbia, aquecimento e deterioração do painel da silagem. Esse processo reduz o valor nutritivo do alimento e aumenta as perdas de matéria seca durante o fornecimento aos animais (Mahanna, 2019).

A vedação adequada complementa o efeito da compactação, impedindo a entrada de oxigênio e água no silo. O fechamento eficiente do silo, com uso de lonas de boa qualidade, adequada sobreposição das bordas e proteção contra danos mecânicos, é indispensável para manter o ambiente anaeróbio durante todo o período de armazenamento. Dessa forma, a associação entre colheita rápida, picagem adequada, compactação eficiente e vedação correta constitui a base para a produção de silagens de elevada qualidade em sistemas tropicais (Borreani et al., 2018; Bernardes et al., 2018).

4 FERMENTAÇÃO, ESTABILIDADE AERÓBIA E QUALIDADE FINAL DA SILAGEM

Após a colheita, a picagem, a compactação e a vedação do silo, inicia-se uma sequência de transformações físicas, químicas e microbiológicas responsáveis pela conservação da forragem. A eficiência dessas transformações depende diretamente das etapas anteriores, pois a eliminação rápida do oxigênio, a adequada compactação da massa ensilada e a vedação eficiente favorecem o estabelecimento do ambiente anaeróbio. Nesse contexto, compreender as fases da fermentação, os principais indicadores de qualidade e os fatores que afetam a estabilidade aeróbia após a abertura do silo é essencial para avaliar a qualidade final da silagem e reduzir perdas durante o armazenamento e o fornecimento aos animais (Borreani et al., 2018; Bernardes et al., 2018).

A ensilagem de forragens é amplamente adotada nos sistemas pecuários brasileiros, especialmente em regiões tropicais, nas quais a estacionalidade das pastagens limita a oferta contínua de volumoso de boa qualidade ao longo do ano. Nesse cenário, a silagem representa uma alternativa estratégica para assegurar regularidade no suprimento de nutrientes, contribuindo para maior estabilidade produtiva e econômica dos sistemas de produção de carne e leite (Jobim et al., 2014; Bernardes et al., 2018).

Quando se trata de forrageiras tropicais, como milho, sorgo, cana-de-açúcar e capins tropicais, o processo fermentativo apresenta características específicas que influenciam diretamente a qualidade final do material ensilado. Em geral, essas plantas podem apresentar maior teor de umidade, menor concentração de carboidratos solúveis e maior capacidade tampão, especialmente no caso dos capins, o que demanda maior precisão técnica no manejo da colheita, compactação e vedação dos silos (Bernardes et al., 2018; Kung Jr. et al., 2018).

A qualidade da silagem resulta da interação entre os atributos agronômicos e nutricionais da forragem, a dinâmica da fermentação, a estabilidade aeróbia e o manejo adotado após a abertura do silo. Falhas em qualquer uma dessas etapas podem ocasionar perdas expressivas de matéria seca, energia e proteína, além de afetar negativamente o consumo e o desempenho dos animais (McDonald; Henderson; Heron, 1991; Kung Jr. et al., 2018).

4.1 FASES DA FERMENTAÇÃO

A fermentação da silagem ocorre em etapas distintas, iniciando-se imediatamente após o corte da forragem e prolongando-se até a completa estabilização do material armazenado. A compreensão dessas fases é essencial para o manejo adequado do processo e para a produção de silagens com elevado padrão de qualidade (McDonald; Henderson; Heron, 1991; Kung Jr. et al., 2018).

4.1.1 Fase aeróbia transitória

O processo de ensilagem inicia-se com uma fase aeróbia transitória, que ocorre durante o enchimento do silo e nas primeiras horas após a vedação, enquanto o oxigênio residual presente na massa ensilada ainda não foi completamente consumido. Nesta etapa, microrganismos aeróbios, como leveduras, fungos filamentosos e bactérias aeróbias, utilizam os carboidratos solúveis da forragem em processos respiratórios, gerando dióxido de carbono e calor, o que resulta em perdas de matéria seca e elevação da temperatura interna do silo (McDonald; Henderson; Heron, 1991; Bernardes et al., 2018).

A respiração celular vegetal remanescente também contribui para a redução do oxigênio disponível, acelerando a transição para o ambiente anaeróbio necessário à conservação adequada da forragem. Em condições tropicais, as temperaturas ambientais elevadas tendem a intensificar a atividade desses microrganismos aeróbios durante a fase inicial, o que pode agravar as perdas quando o enchimento, a compactação e a vedação do silo são realizados de forma lenta ou inadequada (Bernardes et al., 2018).

A velocidade com que o ambiente se torna anaeróbio é determinante para a qualidade final da silagem. Práticas como compactação adequada, enchimento rápido e vedação imediata reduzem a porosidade e limitam a infiltração de ar, favorecendo o estabelecimento de condições anaeróbias (Borreani et al., 2018). Estudos com sequenciamento de nova geração demonstraram que a microbiota epifítica das forragens frescas, inicialmente dominada por gêneros gram-negativos como *Pantoea*, *Pseudomonas*, *Acinetobacter* e *Klebsiella*, é progressivamente substituída por bactérias gram-positivas, especialmente bactérias ácido-láticas (BAL), à medida que o oxigênio se esgota (Guo et al., 2023).

4.1.2 Fase de fermentação anaeróbia

Uma vez estabelecida a anaerobiose, as bactérias ácido-láticas assumem papel central no processo fermentativo. Esses microrganismos convertem carboidratos solúveis em ácidos orgânicos, principalmente ácido lático, promovendo a redução do pH e criando condições desfavoráveis ao desenvolvimento de microrganismos deterioradores (McDonald; Henderson; Heron, 1991; Kung Jr. et al., 2018).

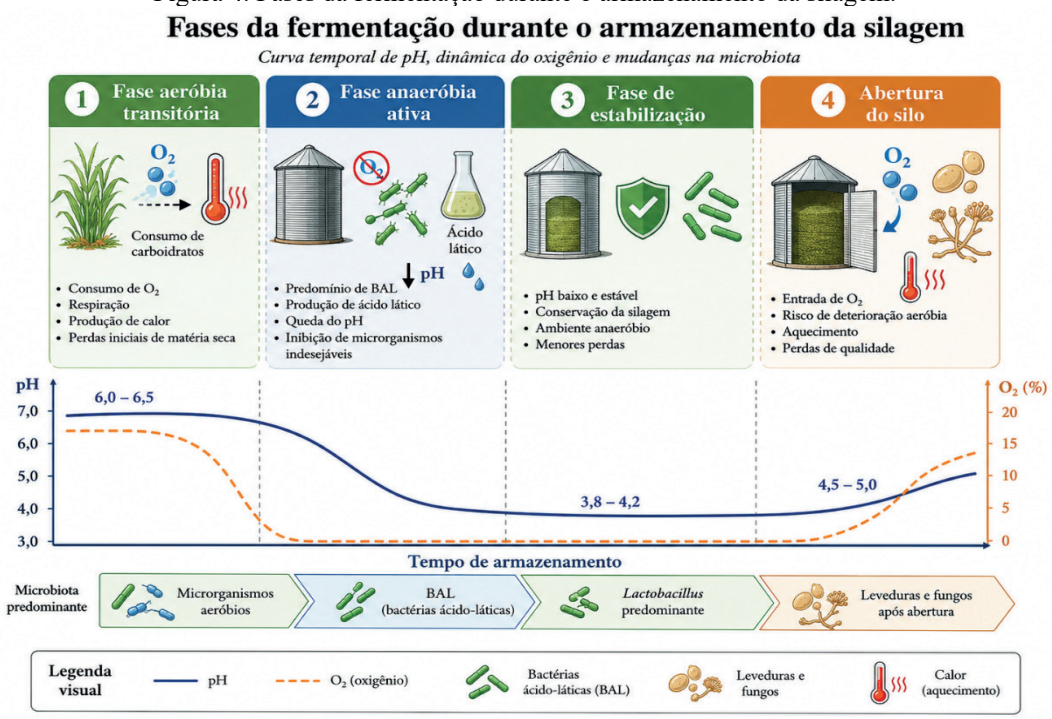
Na fase inicial da fermentação ativa, gêneros como *Lactococcus*, *Enterococcus*, *Weissella* e *Pediococcus* desempenham papel relevante na acidificação do meio. Nas fases intermediária e final, o gênero *Lactobacillus* tende a predominar, em razão de sua maior tolerância a condições de pH reduzido. Essa sucessão microbiana foi confirmada por análises de vias metabólicas, que subdividiram a fermentação em três fases funcionais: fase I, de 0 a 3 dias, marcada pela intensa ativação do metabolismo de carboidratos e nucleotídeos; fase II, de 3 a 14 dias, caracterizada como fase de transição metabólica; e fase III, de 14 a 60 dias, com predominância do metabolismo energético e de aminoácidos (Bai et al., 2022).

A queda do pH é promovida principalmente pela produção de ácido lático, considerado o ácido orgânico mais eficiente na acidificação da massa ensilada. Essa eficiência está relacionada à sua constante de dissociação, sendo o ácido lático cerca de 10 a 12 vezes mais potente que outros ácidos orgânicos produzidos durante a ensilagem (Kung Jr. et al., 2018).

Em silagens de milho, a rápida colonização por bactérias ácido-láticas homofermentativas resulta em declínio pronunciado do pH já nas primeiras 24 horas, especialmente quando há adequada disponibilidade de carboidratos solúveis. Em contrapartida, silagens de gramíneas tropicais, como capim-mombaça (*Panicum maximum*), frequentemente estabilizam em pH superior a 4,0, condição que pode favorecer fermentações secundárias indesejáveis, como a fermentação clostridiana, além de elevar os teores de ácido butírico e nitrogênio amoniacal (Bernardes et al., 2018).

A fermentação da silagem pode ser compreendida como uma sequência de fases microbiológicas e químicas, marcada pela transição do ambiente aeróbio para o anaeróbio, pela produção de ácidos orgânicos, pela queda do pH e pela estabilização do material ensilado, conforme ilustrado na Figura 4.

Figura 4. Fases da fermentação durante o armazenamento da silagem.



Fonte: Adaptado de Guim (2002), McDonald, Henderson e Heron (1991), Kung Jr. et al. (2018), Bernardes et al. (2018), Bai et al. (2022) e Guo et al. (2023).

4.1.3 Fase de estabilização

A estabilidade da silagem é alcançada quando a produção de ácidos orgânicos reduz o pH a valores suficientes para inibir a atividade de microrganismos indesejáveis, como enterobactérias e clostrídios. Em condições ideais, esse equilíbrio se mantém enquanto o ambiente permanecer anaeróbio (McDonald; Henderson; Heron, 1991; Kung Jr. et al., 2018).

A dominância de bactérias ácido-láticas, especialmente do gênero *Lactobacillus*, é um indicativo de silagem bem preservada, pois esses microrganismos mantêm a acidez em níveis que restringem o crescimento de organismos deterioradores. Análises por sequenciamento de nova geração, ou NGS, do inglês *next-generation sequencing*, confirmaram que, ao final de 30 dias de ensilagem, a comunidade bacteriana em silagens de milho é amplamente dominada por *Lactobacillus* e *Weissella*, com marcada redução nos índices de riqueza e diversidade bacteriana em relação ao material fresco. Esse comportamento indica que o ambiente ácido e anaeróbio atua como filtro seletivo eficiente (Guan et al., 2020).

Em gramíneas tropicais, a obtenção dessa estabilidade é mais desafiadora. O baixo teor de matéria seca, frequentemente inferior a 25%, a elevada capacidade tampão e a menor concentração de carboidratos solúveis são fatores que retardam a queda do pH e predispõem a fermentações secundárias indesejáveis. Em silagens de capim BRS Capiaçu (*Cenchrus purpureus*), por exemplo, valores de pH entre 3,46 e 3,62 foram obtidos apenas com o manejo adequado da idade de corte e a combinação de aditivos, evidenciando que a qualidade fermentativa dessas gramíneas depende fortemente das práticas de manejo adotadas durante a ensilagem (Lelis et al., 2025).

4.2 INDICADORES DE QUALIDADE DA SILAGEM

A qualidade da silagem é avaliada por meio de parâmetros químicos, físicos, microbiológicos e nutricionais, os quais refletem a eficiência do processo fermentativo e o potencial de aproveitamento do alimento pelos animais. Entre os principais indicadores estão o pH, o teor de nitrogênio amoniacal, o perfil de ácidos orgânicos, a presença de mofos, o odor, a coloração, o teor de matéria seca e a composição bromatológica (McDonald; Henderson; Heron, 1991; Kung Jr. et al., 2018).

4.2.1 pH e nitrogênio amoniacal

O pH é o indicador mais amplamente utilizado para avaliação da qualidade fermentativa de silagens. Segundo Kung Jr. et al. (2018), o pH ideal varia conforme o tipo de forragem e o teor de matéria seca. Silagens de milho bem conservadas geralmente apresentam pH entre 3,7 e 4,0, enquanto silagens de gramíneas tendem a se situar em faixas mais elevadas, normalmente entre 4,3 e 4,7, em função da maior capacidade tampão e da menor disponibilidade de carboidratos solúveis.

Em silagens de gramíneas tropicais, a dificuldade de atingir pH adequado é frequentemente observada. Rigueira et al. (2013) relataram valores de pH de 4,91 em silagens de capim-mombaça (Megathyrsus maximus) e de 4,50 em silagens de braquiária (Urochloa decumbens), refletindo a menor disponibilidade de carboidratos solúveis e a maior capacidade tampão dessas forrageiras. Valores de pH acima de 4,6 são indicativos de fermentação lática deficiente e, quando combinados com baixo teor de matéria seca, criam condições favoráveis ao desenvolvimento de clostrídios (Pinedo et al., 2025).

Nesse sentido, o teor de nitrogênio amoniacal em relação ao nitrogênio total é um importante indicador de proteólise durante a fermentação. Concentrações de N-NH_3 superiores a 10% do nitrogênio total indicam silagens de baixa qualidade, com intensa degradação proteica por ação de bactérias proteolíticas e clostrídios (McDonald; Henderson; Heron, 1991). A taxa de proteólise e produção de amônia é particularmente elevada em silagens com baixo teor de matéria seca, pois a umidade excessiva favorece o desenvolvimento de microrganismos indesejáveis (Rigueira et al., 2013).

Em silagens de capim BRS Capiaçu ensilado com diferentes níveis de inclusão de palma forrageira, observou-se incremento linear no teor de N-NH_3 com o aumento da proporção de palma. Valores superiores a 10% do nitrogênio total foram observados nas silagens com inclusão acima de 30%, indicando intensa atividade proteolítica e clostridiana (Monção et al., 2024). Por outro lado, uma meta-análise sobre os efeitos do emurchecimento em silagens demonstrou que a redução do teor de umidade antes da ensilagem diminui significativamente os teores de amônia, evidenciando menor atividade proteolítica em silagens com maior teor de matéria seca (Ridla et al., 2024).

4.2.2 Perfil de ácidos orgânicos

O perfil de ácidos orgânicos constitui uma das ferramentas mais completas para avaliar o padrão fermentativo da silagem. Silagens de alta qualidade apresentam concentrações adequadas de ácido lático, principal responsável pela queda do pH e pela estabilização do material ensilado. De modo geral, concentrações de ácido lático entre 2% e 4% da matéria seca são consideradas indicativas de bom padrão fermentativo (Kung Jr. et al., 2018).

O ácido acético, segundo ácido orgânico mais abundante nas silagens, situa-se normalmente entre 1% e 3% da matéria seca e desempenha papel relevante na estabilidade aeróbia, pois inibe o crescimento de leveduras e fungos filamentosos. O ácido propiônico, embora geralmente presente em menores concentrações, também pode contribuir para a inibição de microrganismos deterioradores. Por outro lado, concentrações de ácido butírico superiores a 0,5% da matéria seca são indicativas de fermentação clostridiana indesejável, associada à degradação de proteínas e aminoácidos, com consequente redução do valor nutritivo e da palatabilidade da silagem (Akhtar et al., 2025).

Em silagens de sorgo, diferenças significativas nos teores de ácido lático e ácido acético foram observadas entre cultivares, embora os ácidos propiônico e butírico não tenham apresentado variações significativas (Pinedo et al., 2022). Em silagens de milho com uso de inoculante bacteriano, a adição de bactérias ácido-láticas homofermentativas proporcionou maior concentração de ácido lático e queda mais rápida do pH. Por outro lado, bactérias ácido-láticas heterofermentativas favoreceram maior produção de ácido acético, contribuindo para a estabilidade aeróbia, embora possam estar associadas a maior risco de perdas gasosas (Zanella et al., 2022).

Estudos com forragens tropicais ensiladas sob temperaturas elevadas indicaram que a fermentação do tipo acetática tende a predominar em silagens produzidas em condições tropicais. Esse comportamento sugere que as condições ambientais do trópico podem modificar a fisiologia e o metabolismo dos microrganismos envolvidos na fermentação, interferindo diretamente no perfil de ácidos orgânicos e na estabilidade final da silagem (Li et al., 2019).

4.2.3 Indicadores físicos e nutricionais

Além dos indicadores químicos e fermentativos, aspectos físicos e nutricionais também devem ser considerados na avaliação da qualidade da silagem. Entre os indicadores físicos, destacam-se a coloração, o odor, a textura e a presença de mofos. Silagens de boa qualidade geralmente apresentam coloração semelhante à da forragem original, odor ácido agradável e ausência de crescimento fúngico visível. Alterações como escurecimento excessivo, odor pútrido, presença de bolores ou aquecimento indicam deterioração e perdas nutricionais (Jobim et al., 2014; Kung Jr. et al., 2018).

Do ponto de vista nutricional, a qualidade da silagem é expressa pelos teores de matéria seca, proteína bruta, energia, fibra em detergente neutro e fibra em detergente ácido. Esses atributos são

influenciados tanto pela composição inicial da forragem quanto pelas perdas ocorridas durante a fermentação e o armazenamento. Silagens bem manejadas preservam maior proporção do valor nutritivo original da planta, refletindo em melhor consumo, maior aproveitamento dos nutrientes e desempenho animal superior (Jobim et al., 2014; Kung Jr. et al., 2018).

Nesse contexto, a avaliação conjunta dos parâmetros químicos, físicos e nutricionais é essencial para interpretar corretamente a qualidade da silagem. Um único indicador, como o pH, não deve ser utilizado de forma isolada, pois silagens com pH adequado podem apresentar problemas de deterioração aeróbia, perdas de matéria seca ou alterações nutricionais importantes. Assim, a interpretação integrada dos indicadores fornece diagnóstico mais preciso do processo de conservação e do potencial de utilização da silagem na alimentação animal (Jobim et al., 2014; Kung Jr. et al., 2018).

4.3 ESTABILIDADE AERÓBIA APÓS A ABERTURA DO SILO

A estabilidade aeróbia corresponde à capacidade da silagem resistir à deterioração quando exposta ao oxigênio durante o fornecimento aos animais. Esse fator é particularmente relevante em regiões tropicais, onde as temperaturas elevadas favorecem o crescimento de microrganismos deterioradores e aceleram as perdas após a abertura do silo (Borreani et al., 2018; Bernardes et al., 2018).

A estabilidade aeróbia fica comprometida quando o oxigênio penetra na massa ensilada durante a fase de desabastecimento, ativando microrganismos aeróbios até então inativos. As leveduras assimiladoras de lactato, pertencentes principalmente aos gêneros Saccharomyces, Candida, Cryptococcus e Pichia, são reconhecidas como os agentes iniciais desse processo, pois metabolizam o ácido lático e os carboidratos solúveis residuais, elevando o pH e criando condições favoráveis ao crescimento subsequente de fungos filamentosos e bactérias deterioradoras (Borreani et al., 2018; Coutinho et al., 2020).

Uma questão importante na conservação de forragens é que silagens bem fermentadas, com elevados teores de ácido lático e baixo pH, podem ser mais vulneráveis à deterioração aeróbia do que silagens de qualidade inferior, justamente por oferecerem substrato abundante para o crescimento de leveduras quando expostas ao oxigênio (Borreani et al., 2018).

Nesse sentido, silagens de forrageiras tropicais, como cana-de-açúcar, milho e sorgo, apresentam especial susceptibilidade à deterioração aeróbia, uma vez que frequentemente possuem elevadas concentrações residuais de carboidratos solúveis e ácido lático após a fase fermentativa ativa (Coutinho et al., 2020). A deterioração aeróbia resulta em aumento da temperatura e do pH, elevação na contagem de leveduras e fungos, perdas substanciais de matéria seca e redução acentuada do valor nutritivo da silagem (Durman et al., 2025).

As perdas de matéria seca associadas à deterioração aeróbia podem ser severas, especialmente em áreas periféricas do silo expostas ao ar. Estudos em silos trincheira e de superfície demonstraram que as perdas adicionais de matéria orgânica na camada superior de 0,45 m podem variar de 7% a 61%, sendo mais acentuadas em silos sem vedação adequada. Em regiões tropicais, as temperaturas elevadas aceleram a atividade microbiana deterioradora, agravando as perdas pós-abertura. Em avaliação de silagem de milho tratada com ácidos orgânicos, observou-se que o uso de aditivos reduziu significativamente as perdas de matéria seca em silagens colhidas precoce e tardiamente, além de retardar a elevação do pH durante a exposição ao ar (Bernardes et al., 2018; Borreani; Bernardes; Tabacco, 2008; Durman et al., 2025).

A prevenção da deterioração aeróbia requer abordagem integrada, envolvendo práticas antes, durante e após a ensilagem. A compactação adequada, visando densidade mínima recomendada de 705 kg/m³ na base úmida e porosidade inferior a 0,4, é essencial para minimizar a infiltração de ar. A utilização de filmes de barreira ao oxigênio na cobertura do silo também tem demonstrado redução significativa nas contagens de leveduras e fungos, além de menores perdas de matéria seca nas áreas periféricas do silo (Bernardes et al., 2018).

Durante a fase de desabastecimento, a taxa de remoção da silagem do silo é fator determinante para o controle da deterioração. Bernardes et al. (2021) desenvolveram o índice de taxa de remoção de massa, ou MFR, do inglês *mass feed-out rate*, expresso em quilogramas de matéria natural removidos diariamente por metro quadrado de face do silo. Em levantamento realizado em 97 fazendas no Brasil e na Itália, os autores demonstraram que uma taxa superior a 250 kg/m² por dia reduziu significativamente o risco de deterioração aeróbia em silagens de milho, tanto em clima tropical quanto temperado.

Como complemento às práticas de manejo, o uso de *Lactobacillus buchneri* como inoculante heterofermentativo tem sido amplamente estudado como estratégia para melhorar a estabilidade aeróbia. Uma meta-análise conduzida por Arriola et al. (2021), envolvendo 158 artigos, demonstrou que a inoculação com *L. buchneri* aumentou a concentração de acetato em 62%, reduziu a contagem de leveduras em sete vezes e incrementou a estabilidade aeróbia em 73,8%. Contudo, os autores observaram que a melhoria na estabilidade aeróbia não foi significativa para gramíneas tropicais, sugerindo que a eficácia do inoculante pode depender do tipo de forragem e das condições ambientais de ensilagem.

A combinação de *L. buchneri* com bactérias ácido-láticas homofermentativas pode prevenir o pequeno aumento nas perdas de matéria seca causado pela inoculação isolada com a cepa heterofermentativa. Adicionalmente, estudos com silagem de milho demonstraram que doses iguais ou superiores a 1×10^5 UFC/g de forragem fresca de *L. buchneri* foram mais eficientes no controle da deterioração aeróbia, com aumento significativo na concentração de ácido acético e redução na contagem de leveduras (Basso et al., 2012).

Dessa forma, a estabilidade aeróbia deve ser compreendida como resultado da interação entre qualidade fermentativa, manejo do silo e condições de fornecimento. A produção de uma silagem bem fermentada não garante, isoladamente, sua conservação após a abertura. Por isso, práticas como compactação eficiente, vedação adequada, uso criterioso de inoculantes, retirada diária uniforme e manutenção da face do silo limpa e compacta são indispensáveis para preservar o valor nutritivo da silagem até o momento do consumo pelos animais.

5 APLICAÇÕES DA SILAGEM NA ALIMENTAÇÃO ANIMAL E IMPACTOS PRODUTIVOS E ECONÔMICOS

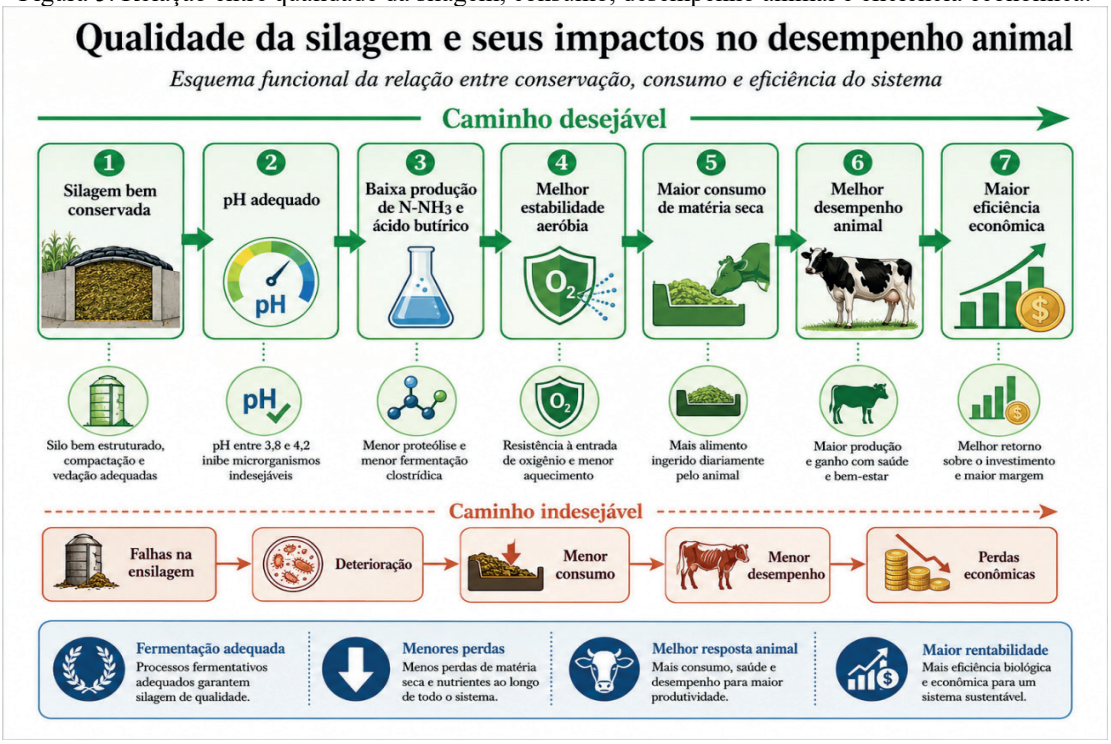
Após a compreensão dos fatores que determinam a fermentação, a estabilidade aeróbia e a qualidade final da silagem, torna-se necessário discutir como esse alimento conservado é utilizado na dieta dos ruminantes e de que forma sua qualidade interfere no consumo, no desempenho animal e na eficiência econômica dos sistemas de produção.

A silagem de forrageiras tropicais exerce papel central na alimentação de ruminantes nos sistemas de produção brasileiros, sendo utilizada tanto como principal fonte de volumoso em períodos de escassez de pastagens quanto como componente estrutural de dietas intensivas ao longo de todo o ano. O uso adequado desse volumoso está diretamente relacionado ao consumo de matéria seca, ao desempenho produtivo e reprodutivo dos animais e à sustentabilidade econômica da produção de carne e leite (Jobim et al., 2014; Daniel; Zopollatto; Nussio, 2011).

A resposta animal à utilização da silagem depende fundamentalmente de sua qualidade, a qual é determinada pelas características agronômicas da forrageira, pela eficiência do processo fermentativo e pelo manejo adotado após a abertura do silo. Silagens bem conservadas favorecem maior ingestão voluntária, melhor aproveitamento dos nutrientes e maior eficiência alimentar, enquanto silagens de qualidade inferior podem limitar o desempenho, elevar os custos de produção e resultar em perdas econômicas expressivas (Jobim et al., 2014; Bernardes et al., 2018).

A qualidade da silagem exerce efeito direto sobre o consumo de matéria seca, o aproveitamento dos nutrientes, o desempenho animal e a eficiência econômica do sistema. Essa relação entre conservação da forragem, resposta animal e retorno produtivo está sintetizada na Figura 5.

Figura 5. Relação entre qualidade da silagem, consumo, desempenho animal e eficiência econômica.



Fonte: Elaboração própria, com base em Jobim et al. (2014), Daniel, Zopollatto e Nussio (2011), Bernardes et al. (2018), Kung Jr. et al. (2018), McDonald, Henderson e Heron (1991) e Valadares Filho et al. (2023).

Nesta seção, são discutidas as principais aplicações da silagem na alimentação de bovinos de corte, bovinos de leite, ovinos e caprinos, bem como seus efeitos sobre o consumo, o desempenho animal e os benefícios econômicos associados ao uso racional desse volumoso nos sistemas de produção.

5.1 USO DA SILAGEM EM DIFERENTES CATEGORIAS DE RUMINANTES

5.1.1 Bovinos de corte

Na bovinocultura de corte, a silagem é amplamente empregada nos sistemas de recria e terminação, especialmente durante o período seco, quando ocorre redução significativa na disponibilidade e na qualidade das pastagens. Nesses sistemas, as silagens de milho e de sorgo destacam-se como importantes fontes de volumoso, em função do elevado valor energético, da boa aceitabilidade e da possibilidade de associação com concentrados energéticos e proteicos (Daniel; Zopollatto; Nussio, 2011).

Em sistemas de confinamento e semiconfinamento, a silagem compõe a base da fração volumosa da dieta, contribuindo para atender às exigências nutricionais dos animais e manter a estabilidade do ambiente ruminal. A utilização de silagens de alta qualidade possibilita maiores ganhos médios diários, melhor conversão alimentar e redução do tempo de terminação, fatores diretamente relacionados à eficiência produtiva e à rentabilidade da atividade (Jobim et al., 2014).

5.1.2 Bovinos de leite

Na bovinocultura leiteira, a silagem desempenha função essencial para a manutenção da produção ao longo do ano. A silagem de milho é amplamente utilizada como volumoso principal em dietas de vacas em lactação, devido à elevada densidade energética, boa digestibilidade da fibra e maior estabilidade de oferta em sistemas intensivos. Silagens de sorgo e de capins tropicais também constituem alternativas relevantes, sobretudo em regiões com limitações climáticas, hídricas ou econômicas para o cultivo do milho (Embrapa, 2013).

A inclusão de silagem de elevada qualidade na dieta de vacas leiteiras favorece maior consumo de matéria seca, melhor estabilidade do ambiente ruminal e incremento na produção de leite. Além disso, contribui para a manutenção do escore de condição corporal e para a eficiência reprodutiva do rebanho, especialmente em sistemas nos quais a regularidade alimentar é determinante para sustentar elevados níveis produtivos (Jobim et al., 2014).

5.1.3 Ovinos e caprinos

Nos sistemas de produção de ovinos e caprinos, a silagem representa uma alternativa estratégica para suprir volumoso em períodos críticos, especialmente em regiões semiáridas ou em sistemas com forte estacionalidade na produção de pastagens. Apesar da maior seletividade alimentar desses animais, silagens bem conservadas, com adequado teor de matéria seca e fermentação eficiente, podem ser utilizadas com sucesso em dietas destinadas ao crescimento, à terminação e à produção de leite (Daniel; Zopollatto; Nussio, 2011).

Silagens de milho, sorgo e capins tropicais, quando corretamente manejadas, apresentam boa aceitabilidade por ovinos e caprinos, contribuindo para a manutenção do desempenho produtivo e para a redução da dependência de volumosos secos, geralmente associados a maiores custos. Entretanto, a inclusão da silagem na dieta deve considerar a categoria animal, o nível de produção, a qualidade do volumoso e a necessidade de suplementação energética, proteica ou mineral.

5.2 CONSUMO E DESEMPENHO ANIMAL

O consumo de matéria seca é um dos principais determinantes do desempenho animal e apresenta relação direta com a qualidade da silagem fornecida. Fatores como teor de matéria seca, digestibilidade da fibra, perfil fermentativo, concentração de ácidos orgânicos, presença de compostos indesejáveis e estabilidade aeróbia exercem influência significativa sobre a ingestão voluntária pelos ruminantes (McDonald; Henderson; Heron, 1991).

Silagens caracterizadas por pH adequadamente reduzido, elevada concentração de ácido lático e baixos teores de ácido butírico e nitrogênio amoniacal tendem a apresentar maior consumo, em função da melhor palatabilidade e da menor ocorrência de odores desagradáveis. Em contrapartida, silagens deterioradas ou submetidas a fermentações indesejáveis resultam em menor ingestão, redução do aproveitamento dos nutrientes e comprometimento do desempenho produtivo (Kung Jr. et al., 2018).

Diversos estudos apontam relação positiva entre o consumo de silagens de alta qualidade e o ganho de peso em bovinos de corte, bem como aumento da produção e da eficiência alimentar em vacas leiteiras (Tabela 3). Em sistemas de confinamento, o fornecimento de silagem de milho bem conservada pode resultar em ganhos médios diários superiores a 1,3 kg por animal, dependendo da qualidade da silagem, do nível de concentrado utilizado e da categoria animal (Jobim et al., 2014).

Em vacas leiteiras, silagens com maior digestibilidade da fibra favorecem maior ingestão de energia, refletindo-se em maiores níveis de produção de leite. Além disso, a utilização de silagem de boa qualidade contribui para a estabilidade ruminal, reduzindo a incidência de distúrbios metabólicos e aumentando a eficiência de utilização dos nutrientes (Jobim et al., 2014).

Tabela 3. Valores médios de referência para consumo e desempenho de ruminantes alimentados com dietas contendo silagem.

Categoria animal	Consumo de MS (% do PV)	Ganho médio diário / Produção de leite
Bovinos de corte (confinamento)	2,2 – 2,5	1,2 – 1,6 kg dia^{-1}
Vacas leiteiras	3,0 – 3,5	20 – 35 kg de leite dia^{-1}
Ovinos em crescimento	3,0 – 4,0	0,15 – 0,25 kg dia^{-1}
Caprinos	3,5 – 4,5	2,5 – 4,0 kg de leite dia^{-1}

MS: matéria seca; PV: peso vivo. Fonte: Valores de referência organizados pelos autores com base em Valadares Filho et al. (2023), National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2021), National Research Council (2007), Jobim et al. (2014) e Embrapa (2013).

Os dados apresentados demonstram que o desempenho animal está diretamente associado ao consumo de matéria seca e à qualidade da silagem fornecida, reforçando a importância do manejo adequado em todas as etapas do processo de ensilagem. Assim, a escolha da espécie forrageira, o ponto de colheita, a compactação, a vedação, a estabilidade aeróbia e o manejo após a abertura do silo influenciam diretamente o aproveitamento da silagem pelos animais.

5.3 BENEFÍCIOS ECONÔMICOS E PLANEJAMENTO ALIMENTAR

A utilização da silagem proporciona importantes benefícios econômicos aos sistemas de produção animal, destacando-se a redução da dependência de volumosos adquiridos externamente, a maior previsibilidade dos custos alimentares e o aumento da eficiência produtiva dos rebanhos (Bernardes et al., 2018; Daniel; Zopollatto; Nussio, 2011).

A produção de silagem na própria propriedade permite melhor aproveitamento da área agrícola, favorece o planejamento forrageiro e possibilita a utilização de cultivares adaptadas às condições locais. Além disso, a silagem apresenta, em geral, menor custo por unidade de energia quando comparada a diversos concentrados, especialmente em sistemas intensivos de produção (Bernardes et al., 2018).

Outro aspecto relevante refere-se à mitigação das perdas produtivas decorrentes da sazonalidade das pastagens. Ao assegurar oferta contínua de volumoso de qualidade, a silagem contribui para a manutenção do desempenho animal ao longo do ano, reduzindo oscilações na produção de leite e no ganho de peso e impactando positivamente a rentabilidade do sistema (Daniel; Zopollatto; Nussio, 2011).

Quadro 1. Comparação simplificada de custos e benefícios do uso da silagem.

Item	Sistema sem silagem	Sistema com silagem
Regularidade alimentar	Baixa	Alta
Custo alimentar no período seco	Elevado	Moderado
Desempenho animal	Variável	Estável
Previsibilidade econômica	Baixa	Alta

Fonte: Adaptado de Daniel, Zopollatto e Nussio (2011) e Bernardes et al. (2018).

Além dos benefícios diretos sobre o desempenho animal e os custos de produção, o uso racional da silagem favorece maior eficiência na utilização dos recursos naturais, redução de desperdícios e maior sustentabilidade dos sistemas de produção animal. Dessa forma, a silagem deve ser compreendida não apenas como uma técnica de conservação de forragens, mas como uma ferramenta estratégica de planejamento alimentar, capaz de integrar produção vegetal, nutrição animal e gestão econômica da propriedade (Bernardes et al., 2018; Daniel; Zopollatto; Nussio, 2011).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A produção de silagem representa uma estratégia fundamental para garantir a oferta contínua de volumosos de qualidade nos sistemas de produção animal, especialmente em regiões tropicais, onde a sazonalidade das pastagens limita a disponibilidade de forragem ao longo do ano. Nesse contexto, a ensilagem possibilita a conservação eficiente de nutrientes, contribuindo para a estabilidade produtiva e econômica das atividades pecuárias.

A qualidade final da silagem é resultado da interação entre diversos fatores, incluindo as características agronômicas da forrageira, o teor de matéria seca no momento da colheita, a população microbiana presente na planta e, principalmente, o manejo adotado durante as etapas de corte, picagem, compactação, vedação e armazenamento. Falhas em qualquer uma dessas etapas pode compro-

meter o processo fermentativo, resultando em perdas de matéria seca, redução do valor nutritivo e maior risco de deterioração aeróbia.

O entendimento das fases da fermentação, bem como dos principais indicadores físicos, químicos, microbiológicos e nutricionais de qualidade, constitui ferramenta essencial para a avaliação e o aprimoramento do processo de ensilagem. Além disso, estratégias que favoreçam a estabilidade aeróbia após a abertura do silo são determinantes para a manutenção do valor nutricional da silagem durante o fornecimento aos animais, reduzindo perdas e garantindo maior eficiência alimentar.

Dessa forma, a adoção de boas práticas de manejo, aliada ao conhecimento técnico sobre o processo de fermentação e conservação das forragens, permite a produção de silagens de elevada qualidade, capazes de sustentar melhores níveis de desempenho produtivo em bovinos de corte, bovinos de leite, ovinos e caprinos. Assim, a silagem consolida-se como ferramenta estratégica para o aumento da eficiência produtiva, da sustentabilidade e da competitividade da pecuária em sistemas tropicais.

DECLARAÇÃO DE USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Os autores declaram que utilizaram a ferramenta ChatGPT, da OpenAI, modelo GPT-5.5 Thinking, como apoio na elaboração deste capítulo, especialmente na organização textual, revisão da redação acadêmica e elaboração de figuras, esquemas e elementos visuais.

Todo o conteúdo textual e visual produzido com apoio da IA foi revisado, ajustado e validado pelos autores, que assumem integral responsabilidade pelo capítulo. A Inteligência Artificial não foi considerada autora ou coautora.

REFERÊNCIAS

AGUIRRE, P. F.; DEMARCO, I. R.; BINSFELD, L. A.; GUZATTI, G. C. Qualidade bromatológica da silagem do capim BRS Capiaçu com o uso de aditivos sob diferentes intervalos de corte. **Revista Foco**, v. 17, n. 12, p. e7240, 2024. DOI: 10.54751/revistafoco.v17n12-109.

AKHTAR, M. F.; WENQIONG, C.; UMAR, M.; CHANGFA, W. Biochemical properties of lactic acid bacteria for efficient silage production: an update. **Frontiers in Microbiology**, v. 16, p. 1581430, 2025. DOI: 10.3389/fmicb.2025.1581430.

ARRIOLA, K. G.; OLIVEIRA, A. S.; JIANG, Y.; KIM, D.; SILVA, H. M.; KIM, S. C.; AMARO, F. X.; OGUNADE, I. M.; SULTANA, H.; PECH CERVANTES, A. A.; FERRARETTO, L. F.; VYAS, D.; ADESOGAN, A. T. Meta-analysis of effects of inoculation with Lactobacillus buchneri, with or without other bacteria, on silage fermentation, aerobic stability, and performance of dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 104, n. 7, p. 7653–7670, 2021. DOI: 10.3168/jds.2020-19647.

ASSIS, L. M. B.; ABREU, J. G.; RODRIGUES, J. A.; LOPES, M.; CABRAL, L. S.; CABRAL, C. E. A.; KAZAMA, D. C. S.; KAZAMA, R. Características fermentativas e de composição bromatológica da silagem de cana-de-açúcar com níveis de inclusão de DDG. **Observatório de la Economía Latinoamericana**, v. 23, n. 5, p. e9901, 2025.

BAI, J.; DING, Z.; SU, R.; WANG, M.; CHENG, M.; XIE, D.; GUO, X. Storage temperature is more effective than lactic acid bacteria inoculations in manipulating fermentation and bacterial community diversity, co-occurrence and functionality of the whole-plant corn silage. **Microbiology Spectrum**, v. 10, n. 2, p. e00101-22, 2022. DOI: 10.1128/spectrum.00101-22.

BARRETA, D. A. Tamanho médio de partícula da dieta: determinação, interpretação e efeitos para vacas leiteiras. **Revista Acadêmica Ciência Animal**, v. 18, p. 1–10, 2020.

BASSO, F. C.; BERNARDES, T. F.; ROTH, A. P. T. P.; LODO, B. N.; BERCHIELLI, T. T.; REIS, R. A. Fermentation and aerobic stability of corn silage inoculated with Lactobacillus buchneri. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 41, n. 7, p. 1789–1794, 2012.

BERNARDES, T. F.; DANIEL, J. L. P.; ADESOGAN, A. T.; MCALLISTER, T. A.; DROUIN, P.; NUSSIO, L. G.; HUHTANEN, P.; TREMBLAY, G. F.; BÉLANGER, G.; CAI, Y. Silage review: unique challenges of silages made in hot and cold regions. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 5, p. 4001–4019, 2018. DOI: 10.3168/jds.2017-13703.

BERNARDES, T. F.; OLIVEIRA, I. L.; CASAGRANDE, D. R.; FERRERO, F.; TABACCO, E.; BORREANI, G. Feed-out rate used as a tool to manage the aerobic deterioration of corn silages in tropical and temperate climates. **Journal of Dairy Science**, v. 104, n. 10, p. 10828–10840, 2021. DOI: 10.3168/jds.2021-20419.

BORBA, L. P.; FLUCK, A. C.; TONET, T.; NEVES, A. C. S.; SOUZA, D. P.; GEPFRIE, K. A.; ARAÚJO, L. A. L.; SIMIONATTO, M. Do campo ao armazenamento: entendendo o processo de fenação. In: **Nutrição animal: novas perspectivas e avanços para a sustentabilidade e otimização dos sistemas de criação**. [S.l.]: Editora Científica Digital, 2025. p. 135–149. DOI: 10.37885/250519313.
BORREANI, G.; BERNARDES, T. F.; TABACCO, E. Aerobic deterioration influences the fermentative, microbiological and nutritional quality of maize and sorghum silages. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. spe, p. 68–77, 2008.

BORREANI, G.; TABACCO, E.; SCHMIDT, R. J.; HOLMES, B. J.; MUCK, R. E. Silage review: factors affecting dry matter and quality losses in silages. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 5, p. 3952–3979, 2018. DOI: 10.3168/jds.2017-13837.

CAMPOS, D. W. J.; BATISTA, T.; PEREZ, T. F.; TEIXEIRA, V.; DI BELLO, M. M.; SILVA, H.; VERAS, L. Composição bromatológica da silagem de cana-de-açúcar em colheita tardia com e sem inoculação. **Unisanta Bioscience**, v. 15, n. 1, p. 56–67, 2026. DOI: 10.5281/zenodo.18319311.

CHAVES, F. F.; CARVALHO, D. O.; MIRANDA, J. E. C.; RODRIGUES, J. A. S.; OLIVEIRA, J. S.; BERNARDO, W. F.; MAGALHÃES, V. M. A. **Sete passos para uma boa ensilagem de sorgo: cartilhas adaptadas ao letramento do produtor**. Brasília: Embrapa, 2015.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA AGRICULTURA. **Produção de silagem: milho, sorgo e capim.** 2. ed. Brasília: CNA, 2023.

COSTA, A. M. V.; XAVIER, C. B. M. S.; MOURA, M. C.; PESSOA FILHO, F. N.; RODRIGUÊS, J. C. A.; FONTANA, M. B. L.; LISBOA, S. B.; COSTA, A. N. L.; ARAÚJO, C. S.; SILVA, S. F. Fatores que interferem no consumo da silagem. In: **Agropecuária e meio ambiente: uma visão integrada**. [S.l.]: Editora Científica Digital, 2025. p. 106–127.

COUTINHO, D. N.; ALVES, W. S.; MACÊDO, A. J. S.; ANJOS, A. J.; FREITAS, C. A. S.; SENA, H. P. de. Estabilidade aeróbia em silagens de gramíneas tropicais tratadas com Lactobacillus buchneri. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 11, p. e75991110530, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i11.10530.

DANIEL, J. L. P.; ZOPOLLATTO, M.; NUSSIO, L. G. A escolha do volumoso suplementar na dieta de ruminantes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, p. 261–269, 2011.

DUHATSCHEK, D.; BELL, J.; FERRARETTO, L. F.; DURETTO, D.; GOESER, J.; COONS, E.; SMITH, J. K.; PAUDYAL, S.; PIÑEIRO, J. M. Effect of forage sorghum hybrids varying in berry size on berry processing score and in situ starch digestibility. **JDS Communications**, v. 6, n. 4, p. 513–517, 2025. DOI: 10.3168/jdsc.2025-0749.

DURMAN, T.; BUENO, A. V. I.; JOBIM, C. C.; SOUZA, A. M.; HORST, E. H.; CESAR, P. V. P.; IENKE, L. A.; MOKOCHINSKI, N. S.; GIACOMET, J. A. A.; NEUMANN, M. Corn silage aerobic stability, dry matter loss, and microbiology are affected by the use of organic acids, depending on the plant maturity stage. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 46, n. 5, p. 1629–1648, 2025. DOI: 10.5433/1679-0359.2025v46n5p1629.

EMBRAPA. **Produção e utilização de silagem de milho e sorgo.** Brasília, DF: Embrapa, 2013.
FELDMANN, N. A.; HEIDRICH, C. D.; ALBAN, L.; RHODEN, A. C.; PAVAN, D. Processamento de grãos: análise KPS na produção de silagem de milho. **Revista Inovação Gestão e Tecnologia no Agronegócio**, v. 2, 2023.

FERREIRA, J. R.; COSTA, J. M. B.; SILVA, J. S. L. M.; BRUNO, M. R. C.; GUEDES, F. A. Produção e qualidade de silagem de milho com material remanescente da colheita de milho verde em diferentes alturas de corte. **Revista Técnica de Ciências Ambientais**, v. 1, p. 1–10, 2025.

FLUCK, A. C.; BORBA, L. P.; GEPFRIE, K. A.; ARAÚJO, L. A. L.; BAUNGRATZ, A. R.; VENTURINI, T.; CONTO, L.; ROSA, P. P. Silagem: tecnologias e fundamentos para a eficiência na conservação de volumosos. In: **Nutrição animal: novas perspectivas e avanços para a sustentabilidade e otimização dos sistemas de criação**. [S.l.]: Editora Científica Digital, 2025. p. 303–323. DOI: 10.37885/250519310.

FURLAN, A. C.; BARCELLOS, L. C. G.; MURAKAMI, A. E.; SILVA, M. A. A.; SILVA, R. M. Avaliação nutricional da silagem de grãos úmidos de sorgo para coelhos em crescimento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, n. 3, p. 775–784, 2006.

GOMES, F. de K.; SILVA, K. T. da; LIMA, N. M. F.; MOREIRA, J. dos S.; RODRIGUES, R. da S.; SILVA JUNIOR, J. C. R. da. Impacto do uso de aditivos e tempo de estocagem na fermentação da silagem de BRS Capiaçu. **EPAMIG. Circular Técnica**, n. 438, dez. 2025. Disponível em: https://www.livrariaepamig.com.br/wp-content/uploads/2026/01/CT-438.pdf. Acesso em: 21 maio 2026.

GRANADOS-NIÑO, J. A.; RETA-SÁNCHEZ, D. G.; SANTANA, O. I.; REYES-GONZÁLEZ, A.; OCHOA-MARTÍNEZ, E.; DÍAZ, F.; SÁNCHEZ-DUARTE, J. I. Efecto de la altura de corte de sorgo a la cosecha sobre el rendimiento de forraje y el valor nutritivo del ensilaje. **Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias**, v. 12, n. 3, p. 958–968, 2021. DOI: 10.22319/rmcp.v12i3.5724.

GUAN, H.; SHUAI, Y.; RAN, Q.; YAN, Y.; WANG, X.; LI, D.; CAI, Y.; ZHANG, X. Microbial community and fermentation dynamics of corn silage prepared with heat-resistant lactic acid bacteria in a hot environment. **Microorganisms**, v. 8, n. 5, p. 719, 2020. DOI: 10.3390/microorganisms8050719.

GUIM, A. Produção e avaliação de silagem. In: SIMPÓSIO DE FORRAGEIRAS NATIVAS, 3., 2002, Areia. **Anais...** Areia: UFPB, 2002. CD-ROM.

GUO, X.; XU, D.; LI, F.; BAI, J.; SU, R. Current approaches on the roles of lactic acid bacteria in crop silage. **Microbial Biotechnology**, v. 16, n. 1, p. 67–87, 2023. DOI: 10.1111/1751-7915.14184.

HEINRICHS, J.; JONES, C. M. Penn State Particle Separator. **Penn State Extension**, 2013. Disponível em: https://extension.psu.edu/penn-state-particle-separator/. Acesso em: 21 maio 2026.

JOBIM, C. C.; NUSSIO, L. G.; REIS, R. A.; SCHMIDT, P. Qualidade e utilização de silagens. In: REIS, R. A.; BERNARDES, T. F.; SIQUEIRA, G. R. (org.). **Forragicultura: ciência, tecnologia e gestão dos recursos forrageiros**. Jaboticabal: FUNEP, 2014. p. 495–525.

JOHNSON, J. R. Techniques to increase silage stability and starch availability and the effects of heat stress abatement systems on reducing heat load in dairy cattle. 2017. Dissertation (PhD) — Kansas State University, Manhattan, 2017.

KOZLOSKI, G. V.; TREVISAN, L. M.; BONNECARRÈRE, L. M.; HÄRTER, C. J.; FIORENTINI, G.; GALVANI, D. B.; PIRES, C. C. Níveis de fibra em detergente neutro na dieta de cordeiros. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 58, n. 5, p. 893–900, 2006.

KUNG JR., L.; SHAVER, R. D.; GRANT, R. J.; SCHMIDT, R. J. Silage review: interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 5, p. 4020–4033, 2018. DOI: 10.3168/jds.2017-13909.

LELIS, D. L.; PACIULLO, D. S. C.; MORENZ, M. J. F.; GOMIDE, C. A. de M.; ROSEIRA, J. P. S.; LOPES, F. C. F.; OLIVEIRA, J. S. e; PEREIRA, O. G.; SILVA, V. P. da; CHIZZOTTI, F. H. M. Biomass production and silage quality of ensiled BRS Capiaçu elephant grass at different regrowth ages and residue heights. **Scientific Reports**, v. 15, p. 4016, 2025.

LI, D.; NI, K.; ZHANG, Y.; LIN, Y.; YANG, F. Fermentation characteristics, chemical composition and microbial community of tropical forage silage under different temperatures. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 32, n. 5, p. 665–674, 2019.

LIU, H.; LI, X.; HU, J.; ZHAO, J.; XU, G.; DONG, D.; JIA, Y.; SHAO, T. Fermentation quality and aerobic stability evaluation of rice straw silage with different ensiling densities. **Fermentation**, v. 10, n. 1, p. 20, 2024. DOI: 10.3390/fermentation10010020.

MACÊDO, A. J. S.; SANTOS, E. M.; OLIVEIRA, J. S.; PERAZZO, A. F. Microbiologia de silagens: revisão de literatura. **Revista Electrónica de Veterinaria**, v. 18, n. 9, p. 1–11, 2017.

MAHANNA, B. Primer provided on feeding silage yeasts. **Pioneer**, 2019. Disponível em: https://www.pioneer.com/us/agronomy/silage_yeasts.html. Acesso em: 21 maio 2026.

MARINHO, J. V. N.; DIB, K. S.; GUIMARÃES, A. K. V.; CUNHA, R. N.; LIMA, R. F. omposição químico-bromatológica e estabilidade de silagens de sorgo (Sorghum bicolor (L.) Moench) com adição de inoculante comercial. **Veterinária e Zootecnia**, v. 30, p. 1–12, 2023.

MCCARY, C. L. **Strategies to improve whole-plant sorghum silage nutritive value**. 2019. Thesis (Master of Science) — University of Florida, Gainesville, 2019.

MCDONALD, P.; HENDERSON, A. R.; HERON, S. J. E. **The biochemistry of silage**. 2. ed. Marlow: Chalcombe Publications, 1991.

MELO, M. L. A.; CAMILO, J. A.; ANDRADE, C. L. T.; AMARAL, T. A.; TIGGES, C. H. P. **Simulação da produtividade potencial de silagem de milho em municípios de Minas Gerais.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2019. (Documentos, 234).

MONÇÃO, F. P.; ROCHA JÚNIOR, V. R.; LEAL, D. B.; RIGUEIRA, J. P. S.; CALDEIRA, L. A.; SILVA, R. K. O. J.; ANTUNES, A. B.; CARVALHO, C. C. S.; SANTOS, A. S.; D'ANGELO, M. F. S. V. Impact of mixed forage silage with BRS Capiaçu grass, ground corn, and varying forage palm levels on aerobic stability, fermentation profile, chemical composition, and digestibility. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 53, e20240122, 2024. DOI: 10.37496/rbz5320240122.

MORAES, S. D.; JOBIM, C. C.; SILVA, M. S.; MARQUARDT, F. I. Produção e composição química de híbridos de sorgo e de milho para silagem. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 14, n. 4, p. 624–634, 2013.

NATIONAL ACADEMIES OF SCIENCES, ENGINEERING, AND MEDICINE. **Nutrient requirements of dairy cattle**. 8. rev. ed. Washington, DC: The National Academies Press, 2021. DOI: 10.17226/25806.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids, and New World camelids**. Washington, DC: The National Academies Press, 2007. DOI: 10.17226/11654.

NIGON, B. J.; SHINNERS, K. J.; COOK, D. E. Harvester modifications to alter composition of corn silage. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 32, n. 2, p. 157–167, 2016.

OENNING, M. C.; NICHELLATTI, L. G.; MIORIN, R. L. Efeito da inclusão de farelo de trigo como sequestrador de umidade no perfil fermentativo e composição bromatológica de silagem de capim BRS Capiaçu. **Anais da Feira do Conhecimento Tecnológico e Científico**, v. 1, n. 26, 2025. Disponível em: https://publicacoes.ifc.edu.br/index.php/fetec/article/view/7390. Acesso em: 21 maio 2026.

ORTIZ, S.; MARTIN, T. N.; FULANETI, F. S.; VALDOVINO, V. C. Silos experimentais e a composição bromatológica de silagem de milho e sorgo. **Vivências**, v. 17, n. 33, p. 229–242, 2021.

OTT, L.; QUINTANILHA, L. A produção de silagem de capim para alimentação de rebanhos bovinos. **Revista Fluminense de Extensão Universitária**, 2025. Nota técnica. Disponível em: https://editora.univassouras.edu.br/index.php/RFEU/article/view/5621. Acesso em: 21 maio 2026.

PEREIRA, A. V.; AUAD, A. M.; BRIGHENTI, A. M.; MITTELMANN, A.; GOMIDE, C. A. de M.; MARTINS, C. E.; PACIULLO, D. S. C.; LÉDO, F. J. da S.; OLIVEIRA, J. S. e; LEITE, J. L. B**. BRS Capiaçu e BRS Kurumi: cultivo e uso.** Brasília: Embrapa, 2021.

PEREIRA, A. V.; LEDO, F. J. S.; MORENZ, M. J. F.; LEITE, J. L. B.; BRIGHENTI, A. M.; MARTINS, C. E.; MACHADO, J. C. **BRS Capiaçu: cultivar de capim-elefante de alto rendimento para produção de silagem**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2016. 6 p. (Comunicado Técnico, 79).

PEREIRA, E. L. C.; NEUMANN, M.; BALDISSERA, E.; KALINOVSKI, V.; GIACOMET, J. A. A.; PASSARIN FILHO, A.; VENANCIO, L. C.; CESAR, P. V. P.; RAMPIM, L.; BUMBIERIS JUNIOR, V. H. Biomass production and chemical composition of corn for silage in different reproductive stages. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 46, n. 3, p. 943–964, 2025. DOI: 10.5433/1679-0359.2025v46n3p943.

PEREIRA, J. R. A.; REIS, R. A. Produção de silagem pré-secada com forrageiras temperadas e tropicais. In: JOBIM, C. C.; CECATO, U.; DAMASCENO, J. C.; SANTOS, G. T. (org.). **Simpósio sobre produção e utilização de forragens conservadas**. Maringá: UEM/CCA/DZO, 2001. p. 64–86.

PEREIRA, R. G. A.; TOWNSEND, C. R.; COSTA, N. L.; MAGALHÃES, J. **A. Processos de ensilagem e plantas a ensilar**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2008. 10 p.

PINEDO, L. A.; ARÉVALO, B. R. dos S.; SANTOS, B. R. C. dos; ASSIS, L. C. da S. L. C.; RIBEIRO, A. A.; AMORIM, D. S.; GONZÁLEZ CHACÓN, S. A. R.; OLIVEIRA, P. V. C. de; FIRMINO, S. S.; GOMES, R. N. Perdas de matéria seca e perfil fermentativo de silagens de sorgo cultivados na Amazônia Ocidental. Research, Society and Development, v. 11, n. 8, p. e20811830668, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i8.30668.

PINEDO, L. A.; CAMPOS, A. F.; PERIPOLLI, V.; SCHWEGLER, E.; PIRES, P. G. S.; MONTAGNER, A. E. A. D.; SANTOS, B. R. C. Produção e qualidade da silagem de sorgo para ruminantes: aspectos agronômicos, fermentativos e nutricionais. In: **Sustentabilidade na zootecnia: estratégias para manejo e produção animal**. Ponta Grossa: Atena, 2025. cap. 4, p. 45–57. DOI: 10.22533/at.ed.811112520034.

RIDLA, M.; ALBARKI, H. R.; RISYAHADI, S. T.; SUKARMAN, S. Effects of wilting on silage quality: a meta-analysis. **Animal Bioscience**, v. 37, n. 7, p. 1185–1195, 2024. DOI: 10.5713/ab.23.0403.

RIGUEIRA, J. P. S.; PEREIRA, O. G.; RIBEIRO, K. G.; MANTOVANI, H. C.; AGARUSSI, M. C. N. The chemical composition, fermentation profile, and microbial populations in tropical grass silages. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 42, n. 9, p. 612–621, 2013.

ROCO, P. J. **Efeito de emurchecimento e aditivo à base de nitrito de sódio e hexamina na conservação da silagem de capim-mombaça**. 2025. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) — Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2025.

SANTOS, B. R. C. dos; PERIPOLLI, V.; PIRES, P. G. da S.; SCHWEGLER, E.; MOREIRA, F.; CASAS, B. A. D.; RINALDI, B. J. D.; CAMPOS, A. F. Estratégias para mitigar os efeitos da sazonalidade forrageira: silagens, rações totalmente misturadas e coprodutos agroindustriais. In: **Nutrição animal: novas perspectivas e avanços para a sustentabilidade e otimização dos sistemas de criação**. [S.l.]: Editora Científica Digital, 2025. DOI: 10.37885/250519314.

SEPKA, L. F.; PEREIRA, R. C.; HABITZREUTER, O.; MIORIN, R. L.; COSTA, A. Efeito da inclusão de aditivo sequestrador de umidade no perfil da silagem de capim-elefante roxo. **Anais da Feira do Conhecimento Tecnológico e Científico**, n. 25, 2024. Disponível em: https://virtualmostratec.liberato.com.br/projeto/efeito-da-inclusao-de-aditivo-sequestrador-de-umidade-no-perfil-da-silagem-de-capim-elefante-roxo/. Acesso em: 21 maio 2026.

VALADARES FILHO, S. C.; SARAIVA, D. T.; BENEDETI, P. D. B.; SILVA, F. A. de S.; CHIZZOTTI, M. L. (ed.). BR-CORTE: **exigências nutricionais de zebuínos puros e cruzados**. 4. ed. Visconde do Rio Branco, MG: Suprema, 2023. 480 p.

VIANNA, A. C.; MENDONÇA, L. Quais são os tipos de silagem de milho e como escolher o ideal? **Rehagro**, 2024. Disponível em: https://rehagro.com.br/blog/tipos-de-silagem-de-milho/. Acesso em: 21 maio 2026.

VIDAL, A. K. F.; DAHER, R. F.; FERREIRA, K. L.; FREITAS, R. S.; AMBRÓSIO, M.; SANTANA, J. G. S.; NASCIMENTO, M. R.; LEITE, C. L.; XAVIER, J. V.; SANTOS-JUNIOR, G. F. dos; SOUZA, A. F. D. de; VAZ, C. F.; PICANÇO, G. B.; MACIEL, K. K. V.; VAZ, A. L. da S. P. O capim-elefante e suas diferentes finalidades: uma revisão bibliográfica. In: **Ciências rurais no século XXI**. [S.l.]: Editora Poisson, 2025.

VIEIRA, V. C.; MARTIN, T. N.; MENEZES, L. F. G.; ORTIZ, S.; BERTONCELLI, P.; STORCK, L. Caracterização bromatológica de silagens de milho de genótipos super precoce. **Ciência Rural**, v. 43, n. 11, p. 1925–1931, 2013.

VITAL, I. C. **Valor nutritivo de silagens de capim BRS Capiaçu e Gliricidia sepium submetidas a diferentes proporções para sistemas de pecuária leiteira orgânica.** 2024. 23 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Orgânica) — Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2024.

WANDSCHEER, R.; FELDMANN, N. A.; SOMAVILLA, L. L.; CUNHA, S. H. M.; MÜHL MÜHL, F. R. Processamento da silagem de milho em propriedades do oeste catarinense. **Revista Inovação**, v. 3, 2024.

XU, G.; YANG, F.; HU, J.; WANG, Y.; DONG, D.; DONG, Z.; LI, J.; SHAO, T. Effect of ensiling density on fermentation characteristics and aerobic stability of Pennisetum giganteum silages. **Agronomy**, v. 14, n. 9, p. 1990, 2024. DOI: 10.3390/agronomy14091990.

ZANELLA, J. B.; ROMMEL, A. A.; TURMINA, A.; KAILER, E. K.; ROSIN, M. R.; SCHLICHMANN, F.; FRANCISCON, H.; CATTELAM, P. M. M.; SILVEIRA, M. F.; CATTELAM, J. Fermentative profile of corn silages with chemical additives. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 74, n. 6, p. 1143–1150, 2022.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Aditivos	73, 74, 132, 133, 134, 136, 138, 144, 146
Adubação	19, 20, 21, 23, 24, 25, 35, 42, 46, 47, 54, 56, 69, 70, 71, 72, 77, 78, 79, 88, 89, 92, 93, 94, 96, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 120, 121, 122, 123
Adubação de manutenção	42, 47, 69, 77, 92, 100, 101, 102
Adubação Nitrogenada	46, 54, 70, 71, 79, 89, 104, 105, 120, 121, 122
Amendoim forrageiro	12, 25, 26
Análise de solo	42, 43, 46, 53, 54, 56, 71, 89, 92, 93, 95, 104, 105
Azospirillum	114, 115, 120, 121

B

Bacillus	114, 117, 118, 120, 121, 142, 144, 147
Bioinsumos	112, 113, 114, 118, 119, 120, 121, 122, 123
BRS Kurumi	24, 25

C

Calagem	46, 56, 89, 95, 96, 97, 98, 101
Capim BRS Capiaçu	144, 145
Capim-elefante	24, 73, 74, 132, 133, 134, 135, 136
Capim-Mombaça	19, 20, 21, 62, 70, 71, 73, 77, 103, 104, 120, 121, 143, 144
Capim-Quênia	19, 21, 62, 121
Capim-Zuri	19, 20, 21, 62, 70, 77, 103, 104, 120, 121
Ciclagem de nutrientes	12, 16, 17, 25, 27, 42, 45, 67, 70, 74, 76, 88, 101, 102, 115
Compactação do solo	38, 45, 46, 72
Conservação de forragens	13, 73, 130, 131, 146, 151

D

Degradação de pastagens	17, 35, 36, 39, 40, 41, 47
Diagnóstico de pastagens	38, 39, 40, 41, 42, 43, 47, 52, 53, 54, 55, 56, 62, 71, 89, 93, 94, 95, 98, 99, 105, 146

E

Enfenação	22
Ensilagem	73, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 147, 150, 151, 152
Estabilidade aeróbia	132, 141, 145, 146, 147, 150, 152

F

Fertilidade do solo	12, 17, 21, 22, 25, 26, 37, 44, 45, 46, 67, 69, 70, 71, 77, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 100, 103, 113, 114, 119, 121, 122, 130, 135, 136
Fixação biológica de nitrogênio	25, 112, 116
Forrageiras tropicais	74, 77, 95, 112, 115, 119, 120, 130, 132, 141, 146, 148
Fósforo	18, 41, 71, 91, 99, 112, 116, 117
Fungos micorrízicos arbusculares	114, 117

G

Gessagem	56, 89, 93, 95, 96, 97
Gramíneas	12, 13, 18, 22, 25, 26, 44, 57, 58, 67, 68, 69, 71, 73, 75, 77, 78, 93, 100, 101, 102, 103, 105, 120, 121, 122, 143, 144, 147
Guandu	12, 25, 26, 70

I

Inoculantes microbianos	113, 114, 115, 117, 121, 122
Integração Lavoura-Pecuária	16, 36, 45, 56, 75, 76, 102
Integração Lavoura-Pecuária-Floresta	16, 36, 75, 102

L

Leguminosas forrageiras	25, 26, 27, 67

M

Macronutrientes	56, 91, 105
Manejo de pastagens	51, 72, 89
Matéria seca	20, 21, 23, 24, 25, 56, 57, 70, 73, 74, 76, 77, 89, 91, 92, 95, 98, 100, 102, 103, 104, 105, 121, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152
Megathyrsus maximus	12, 19, 21, 62, 69, 70, 71, 73, 75, 78, 103, 104, 121, 144
Microrganismos	112, 113, 114, 115, 116, 118, 121, 122, 123, 131, 138, 139, 141, 142, 143, 144, 145, 146
Milho para silagem	134, 135

N

Nitrogênio	16, 17, 21, 25, 26, 54, 56, 70, 91, 100, 112, 115, 116, 138, 143, 144, 145, 150

P

Pastagens	12, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 25, 26, 27, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 51, 52, 53, 55, 56, 57, 60, 61, 62, 67, 68, 69, 71, 72, 73, 75, 76, 78, 79, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 105, 106, 112, 121, 122, 123, 130, 132, 141, 148, 149, 151
Pastejo contínuo	19, 51, 60, 62
Pastejo rotacionado	13, 16, 21, 45, 46, 59, 60, 62, 70, 71, 77
Pennisetum purpureum	12, 24, 25
pH	26, 46, 56, 89, 94, 95, 96, 97, 101, 102, 115, 121, 131, 138, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 150
Potássio	20, 41, 71, 91, 98, 99, 114, 116
Produtividade forrageira	56, 88, 102, 105, 122
Pseudomonas	114, 117, 120, 121, 122, 142

R

Recuperação de pastagens	35, 36, 42
Renovação de pastagens	44, 45, 46

S

Silagem	24, 25, 73, 74, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152
Silagem de milho	132, 134, 137, 139, 140, 146, 147, 149, 150
Silagem de sorgo	134
Solo	12, 16, 17, 18, 19, 21, 22, 24, 25, 26, 27, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 62, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 121, 122, 123, 130, 132, 135, 136, 139
Sorgo	73, 132, 134, 135, 136, 138, 139, 140, 141, 145, 146, 149
Sustentabilidade	12, 15, 16, 17, 25, 26, 27, 35, 36, 42, 52, 54, 56, 59, 62, 67, 68, 74, 75, 76, 79, 88, 89, 92, 98, 100, 102, 105, 112, 113, 117, 119, 122, 123, 148, 151, 152

T

Tamanho de partícula	131, 134, 136, 139, 140
Tamani	19, 20, 21, 62, 73, 121
Tifton	22, 23, 71, 73, 78, 79, 100, 103

U

Urochloa	12, 13, 18, 19, 55, 56, 57, 58, 62, 68, 69, 71, 73, 75, 77, 78, 96, 103, 104, 120, 121, 144

V

Valor nutritivo	13, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 26, 37, 67, 70, 71, 73, 76, 77, 78, 91, 130, 132, 133, 134, 135, 136, 138, 139, 141, 145, 146, 147, 152
Volumosos conservados	67, 73, 74