SILAGEM DE GRÃOS

REIDRATADOS PARA RUMINANTES NO SEMIÁRIDO MINEIRO:

fundamentos e perspectivas

Maria Catiane Araújo Silva Veloso
Pedro Henrique Ferreira da Silva
João Paulo Sampaio Rigueira
Flávio Pinto Monção
Fredson Vieira e Silva
Vicente Ribeiro Rocha Júnior
Luiz Felipe Dias Nogueira
Isadora Vieira Santos Araújo
Maria Eduarda Bessa Bahia



EDITORA Unimontes

SILAGEM DE GRÃOS

REIDRATADOS PARA RUMINANTES NO SEMIÁRIDO MINEIRO:

fundamentos e perspectivas

©Universidade Estadual de Montes Claros - Unimontes

Wagner de Paulo Santiago
Reitor

Dalton Caldeira Rocha
Vice-Reitor

Ivana Ferrante Rebello
Pró-Reitora de Ensino

Marlon Cristian Toledo Pereira
Pró-Reitor de Pós-Graduação

Maria das Dores Magalhães Veloso
Pró-Reitora de Pesquisa

Pablo Peron de Paula
Pró-Reitor de Planejamento, Gestão e Finanças

Rogério Othon Teixeira Alves
Pró-Reitor de Extensão

©Editora Unimontes

Maria Clara Maciel de Araújo Ribeiro
Editora Geral

Conselho Editorial
Maria Clara Maciel de Araújo Ribeiro
Gustavo Henrique Cepolini Ferreira
Ivana Ferrante Rebello
Leandro Luciano Silva Ravnjak
Luiz Henrique Carvalho Penido
Patrícia Takaki Neves
Tânia Marta Maia Fialho
Vanessa de Andrade Royo

Apoio:

FAPEMIG

SILAGEM DE GRÃOS

REIDRATADOS PARA RUMINANTES NO SEMIÁRIDO MINEIRO:
fundamentos e perspectivas

Maria Catiane Araújo Silva Veloso
Pedro Henrique Ferreira da Silva
João Paulo Sampaio Rigueira
Flávio Pinto Monção
Fredson Vieira e Silva
Vicente Ribeiro Rocha Júnior
Luiz Felipe Dias Nogueira
Isadora Vieira Santos Araújo
Maria Eduarda Bessa Bahia

EDITORA Unimontes

Agência LCR
Projeto gráfico, capa e diagramação

Angela Heloiza Benedito Buxton
Revisão linguística

Maria Clara Maciel de A. Ribeiro
Maria Gabriela de Souza
Luana Pereira Santos
Equipe editorial

Este livro foi selecionado por edital e submetido a parecer duplo-cego.

S581 Silagem de grãos reidratados para ruminantes no semiárido mineiro [livro eletrônico] : fundamentos e perspectivas / Maria Catiane Araújo Silva Veloso ... [*et al.*]. -- Montes Claros, MG : Editora Unimontes, 2026. 85 p. il.; E-book (PDF).

Vários colaboradores.
Bibliografia.
Modo de acesso: world wide web
http://www.editora.unimontes.br/index.php/ebook

ISBN: 978-85-7739-829-4. E-book (PDF).

1. Conservação. 2. Milho. 3. Sorgo. I. Veloso, Maria Catiane Araújo Silva. II. Silva, Pedro Henrique Ferreira da. III. Rigueira, João Paulo Sampaio. IV. Monção, Flávio Pinto. V. Silva, Fredson Vieira e. VI. Rocha Júnor, Vicente Ribeiro. VII. Nogueira, Luiz Felipe Dias. VIII. Araújo, Isadora Vieira Santos. IX. Bahia, Maria Eduarda Bessa. X. Título. XI. Título: Fundamentos e perspectivas.

CDD 633.15

Elaborado por Biblioteca Central Professor Antônio Jorge / Roseli Damaso – CRB-6/1892

O conteúdo desta obra, quando não houver indicação específica em contrário, é disponibilizado sob a Licença Creative Commons 4.0 Atribuição – Não Comercial – Sem Derivações. Os direitos desta edição pertencem à Editora Unimontes.

©Editora Unimontes
Campus Universitário Prof. Darcy Ribeiro - Montes Claros - Minas Gerais - Brasil
CEP 39401-089 - CAIXA POSTAL 126
www.editora.unimontes.br | editora@unimontes.br

Filiada à

Apresentação

O semiárido, caracterizado pela irregularidade pluviométrica e pela ocorrência de prolongados períodos de estiagem, configura um ambiente de elevada restrição hídrica que impõe desafios significativos à produção animal. Nesse contexto, a adoção de estratégias, tecnicamente, fundamentadas que assegurem a sustentabilidade dos sistemas produtivos e a manutenção do desempenho animal torna-se essencial para a viabilidade econômica e o desenvolvimento regional. É sob essa perspectiva que se insere a presente obra, estruturada como uma obra técnica especializada voltada à silagem de grãos reidratados.

Esta publicação resulta de um trabalho conjunto de profissionais especializados, conduzido por pesquisadores da Universidade Estadual de Montes Claros (Unimontes). Seu objetivo ultrapassa a abordagem descritiva da técnica, contemplando a elucidação dos princípios científicos que regem a conservação de grãos secos reidratados, bem como suas aplicações práticas. A silagem de grãos reidratados configura-se como uma estratégia tecnológica de elevada relevância, na medida em

que promove a modificação estrutural do amido, aumentando sua disponibilidade e digestibilidade. Esse processo resulta em maior eficiência de utilização dos nutrientes e, consequentemente, em melhorias no desempenho produtivo animal.

O diferencial desta obra reside em sua abordagem integrativa, que estabelece uma interface entre a produção científica atualizada e as demandas operacionais do setor produtivo. O conteúdo é direcionado a um público amplo e heterogêneo, abrangendo pesquisadores, estudantes e produtores rurais, contemplando desde fundamentos teóricos até recomendações técnicas aplicáveis em diferentes escalas produtivas. A incorporação de subprodutos agroindustriais regionais, como soro de leite e resíduos de tomate, evidencia não apenas a viabilidade econômica da técnica, mas, também, sua aderência a princípios de economia circular e sustentabilidade ambiental.

Ao longo dos capítulos, são abordados, de forma sistemática, aspectos relacionados à contextualização da técnica no semiárido, a caracterização físico-química de grãos como milho, sorgo e milheto, o papel de aditivos na modulação do processo fermentativo, a avaliação do valor nutritivo e da digestibilidade, além de diretrizes operacionais para sua implementação. Cada seção foi elaborada com rigor técnico-científico, visando subsidiar a tomada de decisão e a adoção eficiente da tecnologia.

Espera-se que esta obra contribua, de forma significativa, para o aprimoramento dos sistemas de produção pecuária no semiárido, promovendo ganhos em eficiência produtiva, inovação tecnológica e sustentabilidade. Mais do que um material técnico, propõe-se como instrumento de apoio à transformação do conhecimento em prática, incentivando uma pecuária mais resiliente e alinhada às exigências atuais.

Sumário

1. Introdução. 8
2. Silagem de grãos reidratados na alimentação animal 12
3. Caracterização dos grãos utilizados 16
   3.1 Milho 17
   3.2 Sorgo 19
   3.3 Milheto 20
4. Fundamentos da ensilagem de grãos reidratados 23
   4.1 Etapas do processo de ensilagem 24
   4.2 Fases do processo fermentativo 27
   4.3 Como fazer a reidratação dos grãos para ensilagem 29
   4.4 Características fermentativas da silagem de grãos reidratados 32
5. Aditivos utilizados na reidratação de grãos moídos 36
   5.1 Soro de leite 39
   5.2 Resíduo industrial de tomate 42
   5.3 Melaço 48
   5.4 Aditivos microbianos (Inoculantes bacteriano-enzimáticos). 50
   5.5 Reidratação com Água 53
6. Composição química e valor nutricional da silagem de grãos reidratados . 56
   6.1 Composição químico-bromatológica. 57
   6.2 Digestibilidade e cinética ruminal. 60
7. Perspectivas futuras 64
8. Glossário 67
9. Referências 70
Sobre os autores 80

1

Introdução

A alimentação de ruminantes no Brasil, tradicionalmente, baseada em pastagens e suplementação com concentrados, enfrenta desafios significativos no semiárido mineiro. Essa região, caracterizada por precipitação anual entre 250 e 800 mm e uma estação seca prolongada de cinco a oito meses, compromete a produtividade de pastos e lavouras de milho (*Zea mays L.*) e sorgo (*Sorghum bicolor L.*) (Jesus, 2020, p. 10; Antunes *et al.*, 2025, p. 259; Borges *et al.*, 2020, p. 525). Tal sazonalidade climática impõe a necessidade de estratégias eficazes de conservação de alimentos para garantir o suprimento nutricional dos animais durante os períodos críticos de escassez (Jesus, 2020, p.10; Antunes *et al.*, 2025, p. 259).

Estratégias de conservação como a ensilagem, fenação e pré-secagem são essenciais para assegurar a disponibilidade de alimento ao longo do ano, permitindo o uso do excedente forrageiro da época chuvosa no período seco (Mello *et al.*, 2023, p. 145). Dentre essas técnicas, a produção de silagem consolidou-se como uma tecnologia fundamental para a intensificação da pecuária brasileira. O processo de ensilagem preserva o valor nutritivo do alimento através da remoção de oxigênio e da fermentação lática por bactérias anaeróbias, que convertem carboidratos solúveis em ácidos orgânicos, principalmente ácido lático (Muck *et al.*, 2020, p. 767). Esse método é, particularmente, valioso em regiões áridas e semiáridas, pois conserva a umidade dos alimentos, um recurso limitado nessas áreas.

Cereais como milho, sorgo e milheto (*Pennisetum glaucum L.*) são comumente utilizados para silagem devido à sua concentração de carboidratos solúveis e teor de matéria seca ideal (Monção *et al.*, 2024, p. 2). Nesse contexto, a silagem de grãos reidratados emerge como uma alternativa eficaz para armazenar e preservar grãos e concentrados energéticos (Silva *et al.*, 2025, p. 122). Esse processo não só permite a aquisição de ingredientes em épocas de menor custo, mas, também, melhora significativamente seu valor nutricional, especialmente, a digestibilidade do amido (Jesus, 2020, p. 10).

A ensilagem de grãos reidratados envolve a adição controlada de água ou aditivos úmidos a grãos maduros, moídos e compactados em silos vedados, visando atingir o teor de umidade ideal (30-35%) para a fermentação (Silva, Souza e Meneguelli, 2025, p. 2). Essa inovação tecnológica, ao promover uma fermentação controlada, melhora a digestibilidade dos nutrientes, em especial do amido, em comparação ao armazenamento convencional de grãos secos (Cruz, 2021, p. 10). A principal vantagem reside na melhoria da digestibilidade do amido, um componente energético vital para ruminantes. A reidratação, combinada com a fermentação anaeróbica, reduz a integridade da matriz proteica que envolve os grânulos de amido, facilitando o ataque enzimático por microrganismos ruminais e enzimas do próprio animal (Berchielli *et al.*, 2011, p. 45).

No Brasil, onde o milho predominante é do tipo 'flint' (textura dura), aumentar a digestibilidade do amido é crucial para elevar o valor nutritivo dos concentrados energéticos, o que pode resultar em ganhos significativos na eficiência alimentar e no desempenho produtivo dos animais (Fernandes, 2020, p. 14). Assim, a ensilagem de grãos reidratados se destaca por elevar o valor nutritivo do material ao melhorar a digestibilidade do amido, diferentemente de outras modalidades de ensilagem que focam, primariamente, na preservação da composição química.

Além dos benefícios nutricionais, a ensilagem de grãos reidratados oferece vantagens práticas no armazenamento, mitigando perdas por roedores, insetos, fungos e micotoxinas, comuns em métodos tradicionais (Jesus, 2020, p. 10). A falta de capacidade de armazenamento adequado no Brasil, exemplificada pelas perdas de milho na safra 2022/2023, ressalta a importância dessa técnica para garantir o armazenamento por longos períodos, antecipar a colheita em condições climáticas desfavoráveis e otimizar o uso da terra (Conab, 2022; Guimarães *et al.*, 2013, p. 1; Zanin *et al.*, 2023, p. 486). Permite, também,

que os produtores adquiram grãos em épocas de menor custo, armazenando-os como silagem até o uso, o que confere maior flexibilidade no manejo alimentar (Martins, 2022, p. 9).

A adoção da ensilagem de grãos reidratados representa uma alternativa tecnológica viável e promissora para a intensificação da produção animal no semiárido, combinando benefícios nutricionais, práticos e econômicos. A compreensão dos princípios técnicos e dos fatores que influenciam a qualidade do produto é fundamental para o sucesso da implementação em propriedades rurais, especialmente, onde os recursos são limitados e a eficiência produtiva é crucial para a viabilidade econômica. Com base nesse contexto, este livro visa fornecer uma análise abrangente, baseada em pesquisas científicas recentes e focada nas particularidades do semiárido mineiro, para subsidiar a pesquisa e a aplicação prática dessa importante estratégia de alimentação animal, abordando fatores como qualidade, valor nutritivo e desempenho dos animais alimentados com silagens de grãos reidratados.

2

Silagem de grãos reidratados na alimentação animal

A ensilagem de grãos reidratados consiste, basicamente, na adição de água, ou algum aditivo úmido, aos grãos maduros, moídos e compactados em silos vedados, para que alcancem o teor de umidade adequado para fermentação (Silva, Souza e Meneguelli, 2025, p. 2). Esse processo representa uma inovação tecnológica na conservação de alimentos para ruminantes, diferenciando-se do armazenamento convencional de grãos secos ao promover fermentação controlada que melhora a digestibilidade dos nutrientes, especialmente do amido (Cruz, 2021, p. 10).

O grão maduro para armazenamento apresenta aproximadamente 10-15% de umidade e a hidratação do material tem como objetivo elevar essa umidade para 30-35% (Silva, 2022, p. 15). Vale ressaltar que silagem de grãos reidratados não é sinônimo de silagem de grãos úmidos, já que essa última se trata da ensilagem do grão, naturalmente, úmido, e não do grão maduro e seco que foi então reidratado.

A principal vantagem da ensilagem de grãos reidratados reside na melhoria da digestibilidade do amido, o componente energético mais importante para a nutrição de ruminantes. O processo de reidratação, associado à fermentação anaeróbica, reduz a integridade da matriz proteica que circunda os grânulos de amido, permitindo maior ataque enzimático, por enzimas microbianas ruminais e enzimas do próprio animal. A reidratação dos grãos secos e maduros é necessária para que: (i) os carboidratos solúveis tornem-se disponíveis para os microrganismos da silagem, sobretudo para as bactérias ácido-láticas e (ii) para aumentar a digestibilidade ruminal do amido, visto que os grãos secos e endurecidos apresentam uma matriz proteica densa que envolve os grânulos de amido (principalmente no endosperma duro) e dificulta a digestão desse polissacarídeo (Berchielli *et al.*, 2011, p. 45).

No contexto do Brasil, aumentar a digestibilidade do amido do milho é importante para aumentar o valor nutritivo dos concentrados energéticos, visto que o milho predominante no país é de textura dura (tipo '*flint*'). Essa melhoria na digestibilidade pode resultar em aumentos significativos na eficiência alimentar e no desempenho produtivo dos animais (Fernandes, 2020, p. 14). Dessa forma, a ensilagem de grãos reidratados é singular por elevar o valor nutritivo do material, uma vez que melhora a digestibilidade do amido, ao contrário das demais modalidades de ensilagem, cujo foco principal é apenas preservar a composição química.

Além das vantagens nutricionais, a ensilagem de grãos reidratados oferece benefícios práticos importantes para o armazenamento. Rotineiramente, grãos secos são armazenados em galpões ou silos metálicos, mas nem sempre há capacidade para acomodar toda a safra colhida. O armazenamento em galpões tem como inconveniente a possibilidade de perdas em decorrência de ataques de roedores, insetos, fungos e contaminação com micotoxinas (Jesus, 2020, p. 13). No Brasil, cerca de 122 milhões de toneladas de grãos de milho não puderam ser armazenadas, devidamente, por causa de problemas logísticos na safra 2022/2023 (Conab, 2022). Tal defasagem leva a flutuações de preço consideráveis quando se compara a safra à entressafra. A ensilagem de grãos reidratados pode mitigar esses problemas e garantir armazenamento do material por longos períodos, além de permitir antecipação da colheita em caso de condições climáticas inadequadas e garantia de maior eficiência no uso da terra. Nesse cenário de incertezas, a ensilagem de grãos úmidos ou reidratados pode trazer novas oportunidades de mercado, como por exemplo, a venda desse material para alimentação animal (Guimarães *et al.*, 2013, p. 1; Zanin *et al.*, 2023, p. 486). O método, também, permite que os produtores adquiram grãos em épocas de menor custo no mercado, armazenando-os sob a forma de silagem até o momento de utilização, proporcionando maior flexibilidade no manejo alimentar (Martins, 2022, p. 9).

A adoção da ensilagem de grãos reidratados representa, portanto, uma alternativa tecnológica viável e promissora para intensificação da produção animal no semiárido, combinando benefícios nutricionais, práticos e econômicos. A compreensão dos princípios técnicos envolvidos, bem como dos fatores que influenciam a qualidade do produto, é fundamental para o sucesso da implementação dessa tecnologia em propriedades rurais, especialmente quando os recursos são limitados e a eficiência produtiva é crítica para a viabilidade econômica. Somado a isso, a ensilagem de grãos reidratados pode oferecer versatilidade para diferentes modelos de negócio, alinhando objetivos de sustentabilidade, melhor aproveitamento de recursos e redução de perdas alimentares.

3

Caracterização dos grãos utilizados

3.1 Milho

O milho (*Zea mays*) originou-se da seleção artificial de um ancestral selvagem chamado teosinto (*Zea mays ssp. parviglumis*). Povos indígenas, no sul do México, fizeram isso há cerca de 9.000 anos. Da Mesoamérica, o milho espalhou-se pelo continente americano. Após 1492, chegou à Europa e conquistou o mundo. Isso ocorreu graças à sua alta adaptação e produtividade (Matsuoka *et al.*, 2002, p. 6080).

O milho é a principal fonte energética nas dietas de sistemas de produção animal. Isso se deve ao seu elevado valor nutricional. Economicamente, ele domina as rações para ruminantes em confinamento. O grão do milho apresenta teor de proteína bruta em torno de 8,0%, digestibilidade *in vitro* da matéria seca de 80,0% e nutrientes digestíveis totais (NDT) de, aproximadamente, 86,0%, sendo que o amido representa cerca de 72% da matéria seca do grão.

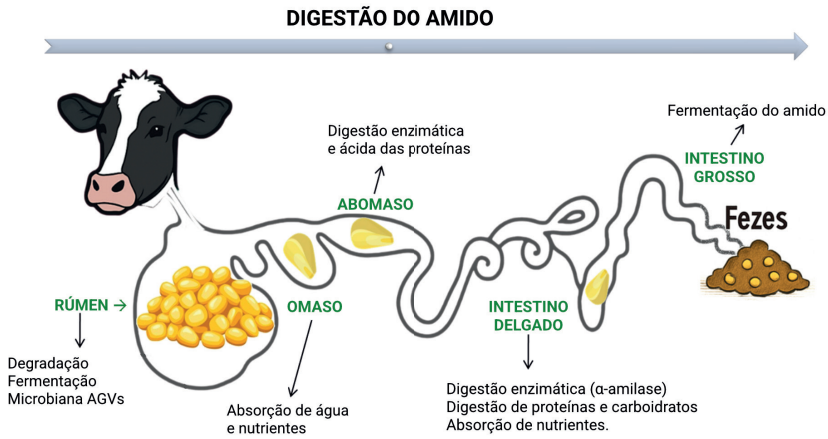
No Brasil, aproximadamente 50% dos grãos de milho vão para alimentação animal (Mourão *et al.*, 2012, p. 4). O elevado teor de amido explica essa preferência. Assim, ele se torna um ingrediente de excelente qualidade para dietas de ruminantes (Lucci *et al.*, 2008, p. 35).

O grão do milho é formado por quatro principais estruturas físicas: pericarpo, endosperma, embrião (gérmen) e pedicelo (ponta). Elas afetam, diretamente, a digestão dos ruminantes. O endosperma é composto, principalmente, de amido (88%) e proteínas de reserva (8%), sobretudo prolaminas, que compõem a matriz proteica envolvendo os grânulos de amido (Paes, 2006, p. 2). Essa matriz proteica de prolaminas é uma estrutura amorfa. Ela protege os grânulos de amido, atuando como barreira física à digestão.

O pericarpo é o "escudo" do grão. Ele resiste à degradação microbiana ruminal (quebra por micróbios no rúmen) e à digestão enzimática no intestino delgado, resultando em menor

aproveitamento nutricional e menos nutrientes disponíveis ao animal (McAllister *et al.*, 2001, p. 291). Esta barreira estrutural representa um desafio importante para a nutrição de ruminantes, especialmente quando se busca maximizar a eficiência alimentar em sistemas de produção intensiva (Figura 1).

Figura 1: Representação da degradação do amido



Fonte: Elaborado pelos autores.

Com o rompimento do pericarpo pela mastigação ou processamento, a fermentação dos grânulos de amido depende da concentração e rigidez da matriz proteica e da parede celular das células do endosperma. Como a matriz proteica do milho é, extremamente, resistente à degradação, mais de 40% do amido escapa da fermentação ruminal (quebra no rúmen) e chega ao intestino delgado. Isso gera perda de eficiência energética (Orskov *et al.*, 1986, p. 241).

Para superar essas barreiras, diferentes tipos bactérias atuam em conjunto. As bactérias celulolíticas quebram a parede celular e as bactérias proteolíticas degradam as proteínas. Assim, os grânulos de amido ficam expostos às bactérias amilolíticas (McAllister *et al.*, 2001, p. 273). Essa interação

complexa reforça a necessidade de processamento adequado do grão para melhorar sua digestibilidade.

Ainda nesse contexto, vale lembrar-se da baixa eficiência dos bovinos na mastigação de grãos, além do potencial limitado de digestão do amido e absorção de açúcares no intestino delgado dos ruminantes, o que reforça a importância de se favorecer a digestão do amido a nível ruminal.

3.2 Sorgo

O sorgo (*Sorghum bicolor*) tem como centro de origem a África e parte da Ásia, onde foi domesticado há cerca de 5.000 anos. Foi introduzido no Brasil, possivelmente, durante o período colonial, por africanos escravizados, contudo, foi a partir da década de 1970 que a cultura, realmente, se desenvolveu no país, impulsionada por sua resiliência a climas secos (Embrapa, 1988). Hoje, o Brasil cultiva variedades especializadas, como o sorgo granífero, forrageiro, sacarino e vassoura, consolidando sua posição como um recurso agrícola estratégico.

O sorgo é o quarto cereal mais cultivado no mundo. No Brasil, a produção de sorgo granífero concentra-se em Goiás, Minas Gerais, São Paulo, Mato Grosso, Bahia e Tocantins. Esses estados respondem por 92% da produção nacional (Fernandes, 2020, p.14). É também a segunda cultura mais usada para silagem (planta inteira conservada) por confinadores no país (Pinto & Millen, 2018, p. 393). Isso se deve à adaptação climática e à alta produtividade por área.

O sorgo é rico em amido, com teor de 65 a 72% na matéria seca. Tem cerca de 9,5% de proteína bruta e 65,0% de FDN (fibra detergente neutro, medida de fibra indigesta). Seus nutrientes digestíveis totais (NDT) são inferiores aos do milho. Isso ocorre pela menor proporção e digestibilidade (facilidade de aprovei-

tamento) do amido. Comparado a milho, cevada, trigo e aveia, o amido do sorgo é o menos digestível. A causa está nas matrizes proteicas e corpos proteicos que revestem os grânulos de amido, além da camada de aleurona (Fernandes, 2020, p. 14).

Por essa menor digestibilidade, o sorgo ganha mais com o processamento. Seu grão menor limita ainda mais a mastigação pelos animais. Processos como moagem e reidratação alteram as características fermentativas e melhoram a digestibilidade dos nutrientes (García *et al.*, 2018, p. 2).

Os componentes principais do grão de sorgo são pericarpo, endosperma e gérmen. Eles representam cerca de 8%, 82% e 10%, respectivamente, com variações por genótipo (Hubbard *et al.*, 1950, p. 415). O amido, carboidrato predominante, concentra-se em grânulos no endosperma e é fundamental para a funcionalidade do grão. Por ser um carboidrato complexo, o amido do sorgo é digerido lentamente, o que o torna uma excelente fonte de energia de liberação gradual (Tanwar *et al.*, 2023, p. 2).

O processo de moagem dos grãos melhora a digestibilidade do amido, pois expõem a matriz proteica, aumentando a superfície de contato para ataque das enzimas. Com isso, o processo de moagem e reconstituição para dietas de ruminantes é utilizado para elevar a área de superfície e viabilizar processos digestivos, por meios fermentativos ou enzimáticos e, consequentemente, melhorar o desempenho animal (Nunes *et al.*, 2020, p. 2).

3.3 Milheto

Originário da África Subsaariana, onde começou a ser cultivado há cerca de 4.500 a 5.000 anos, o milheto é uma gramínea anual de verão, pertencente à tribo das Paníceas, espécie *Pennisetum glaucum*.

O processo de domesticação do milheto seguiu uma via mais lenta e dispersa em comparação aos outros cereais, como o trigo, e foi conduzido por grupos pastoris. A partir da África, difundiu-se para a Índia, há aproximadamente 3.000 anos, e sua introdução nas Américas, como no Brasil, é recente, sendo utilizado, principalmente, para forragem e cobertura de solo (Manning *et al.*, 2011, p. 312).

O milheto é o quinto cereal mais cultivado do mundo, depois do milho, trigo, arroz e sorgo. Estima-se que a área cultivada de milheto é aproximadamente 31 milhões de hectares no mundo, com maior concentração em regiões da Índia e África. No Brasil, não há levantamento de dados oficiais quanto à área plantada de milheto, mas a estimativa é de 2 milhões de hectares. Do ponto de vista comercial, a exploração do milheto ainda é pouco difundida, mas com boas perspectivas, especialmente, para alimentação animal (Jesus, 2020, p. 11).

Essa gramínea tem grande potencial forrageiro (produção de pasto). Ela oferece elevado valor nutritivo e versatilidade de uso. Além disso, adapta-se a diferentes climas e solos, podendo atingir dois metros de altura. Sua produção depende da época do ano, chuvas e fotoperíodo (duração do dia). Assim, chega a 70 toneladas por hectare de massa verde. A produção de sementes varia de 500 a 1.500 kg/ha de matéria seca (MS) por ciclo, que dura cerca de 130 dias (Jesus, 2020, p. 11).

O milheto tolera bem o déficit hídrico (falta de água), o que favorece seu cultivo em regiões semiáridas. O milho precisa de 370 ml de água para produzir 1 g de MS. O sorgo, de 321 ml. Já o milheto requer apenas 300 ml. Ele também resiste a altas temperaturas e tem tolerância moderada à salinidade (excesso de sal). Por isso, é ideal para ambientes adversos (Jesus, 2020, p. 11).

Nutricionalmente, o grão de milheto supera milho e sorgo em proteína. Porém, sua digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica é menor. Ele tem 12,0% de proteína bruta e 53,4% de

digestibilidade *in vitro* da matéria seca. Sua densidade energética é moderada, com 60,2% de nutrientes digestíveis totais (NDT). Além disso, apresenta mais extrato etéreo (gorduras) que outros cereais. Seus aminoácidos, também, superam os do sorgo e milho (Jesus, 2020, p. 12).

Já em estrutura, os grãos de milheto assemelham-se aos do sorgo, contendo um pericarpo externo, testa, camada de aleurona, germe e endosperma amiláceo. O grão do milheto tem, aproximadamente, dois milímetros de comprimento, e o peso de 1.000 grãos varia entre 8-15 gramas, com o germe representando até 21% do grão integral. O endosperma pode atingir até 76% e o pericarpo 10% do grão, enquanto a concentração de amido pode chegar a 62% da composição química do grão, ligeiramente inferior à concentração no milho (72%, em média) (Jesus, 2020, p. 11).

Os grãos de milheto podem contribuir, positivamente, para nutrição animal devido aos elevados teores de minerais como cálcio, ferro e zinco, além de um perfil de aminoácidos de alta qualidade, semelhante aos grãos de milho e sorgo (Hassan *et al.*, 2021, p. 4). A concentração de nutrientes digestíveis totais (NDT) nesse tipo de grão é, ligeiramente, inferior (82,9% da MS) aos grãos de milho e sorgo (86,3% da MS), devido à presença de polifenóis, principalmente taninos, e das interações entre amido, proteína e lipídios presente nesses grãos (Annor *et al.*, 2017, p. 73; Valadares Filho *et al.*, 2023, p. 106).

4

Fundamentos da ensilagem de grãos reidratados

4.1 Etapas do processo de ensilagem

A conservação de cereais por ensilagem é uma estratégia eficiente, reduzindo os efeitos da sazonalidade na produção. Isso ocorre porque preserva o valor nutritivo dos materiais, através do processo fermentativo por meio da acidificação (redução do pH para conservar).

A ensilagem de grãos reidratados apresenta diversas vantagens nutricionais, operacionais e econômicas quando comparada ao armazenamento de grãos secos, ou ao uso de grãos úmidos recém-colhidos (Carvalho-Estrada *et al.*, 2020, p. 2).

Figura 2: Vantagens da ensilagem de grãos reidratados



Fonte: Elaborado pelos autores.

A ensilagem é uma técnica que envolve várias etapas de manejo, e cada uma deve receber atenção especial. Assim, garante-se um bom processo fermentativo (quebra microbiana que conserva o alimento) e a manutenção do valor nutricional. Os procedimentos mais comuns na ensilagem estão representados na Figura 3:

Figura 3: Esquema representativo da ensilagem de grãos reidratados



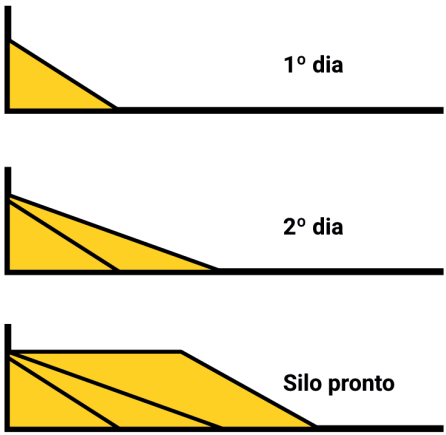
Fonte: Elaborado pelos autores.

A densidade da silagem de grão reidratado é fundamental. Ela garante a conservação e a estabilidade fermentativa (processo microbiano que estabiliza o alimento) do material ensilado. Isso ocorre porque exclui o oxigênio e melhora a eficiência da fermentação.

Na silagem de milho reidratado, a densidade varia de 900 a 1.200 kg/m³ na matéria natural (Pereira *et al.*, 2013, p. 2). Isso equivale a 650 a 750 kg de matéria seca por metro cúbico. Os valores dependem da umidade do grão, do grau de moagem, do tipo de silo e da compactação. Densidades mais altas reduzem perdas fermentativas e, também, preservam melhor o valor nutritivo, porque o espaço poroso menor limita microrganismos aeróbios indesejáveis (Borreani *et al.*, 2018, p. 3.963).

De acordo com *Princípios da Produção e Manejo de Silagens* (Biblioteca AGPTEA, [s.d.]), silagens mal compactadas retêm oxigênio, permitindo a respiração da planta e o crescimento de microrganismos aeróbios. Assim, formam-se bolsões de ar, o que resulta em perdas fermentativas e de nutrientes. Dessa forma, no caso de silos do tipo trincheira, o enchimento e a compactação devem ser realizados em camadas sucessivas a fim de evitar espaços com ar aprisionado, como mostra a Figura 4.

Figura 4: Esquema representativo do enchimento de um silo trincheira ao longo de três dias, sem formação de bolsões de ar



Fonte: Elaborado pelos autores.

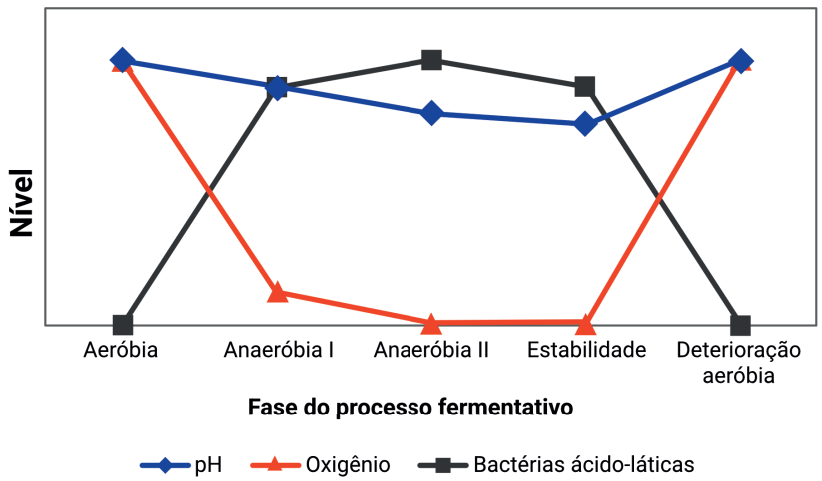
4.2 Fases do processo fermentativo

A produção de silagem depende do processo fermentativo durante o tempo de vedação após a compactação da massa ensilada. A fermentação é uma reação química controlada por enzimas. Nela, moléculas orgânicas viram compostos menores. Na ensilagem, isso ocorre quando açúcares solúveis se convertem em ácido lático, ou em outros ácidos orgânicos (Zopollatto, 2020, p. 15). Há semelhanças entre a fermentação ruminal (quebra no rúmen do animal) e a do silo, especialmente na fase anaeróbia (sem oxigênio). Os produtos são similares: ácido butírico, propiônico, acético e lático. Porém, na ensilagem, o ácido lático domina (94-96%) e na ruminal, é só 2-5%. Isso é ideal para um bom processo no silo (Muck *et al.*, 2018, p. 3980).

O processo de fermentação tem cinco fases principais. Elas vão da presença de oxigênio à sua quase ausência (Figura 5). Na fase aeróbia (com oxigênio), ocorre respiração

dos tecidos vegetais. Microrganismos aeróbios como fungos, leveduras e bactérias consomem carboidratos e geram calor (Holmes e Muck, 2020). Se essa fase se prolonga, fermentações secundárias se intensificam. Formam-se ácido butírico, amônia e aminas pela degradação proteica. Microrganismos indesejáveis, como *Clostridium spp*. causam isso, resultadando em silagem de pior qualidade e risco de intoxicação animal por deterioração (Oliveira, 1998, p. 16; Manitoba Agriculture, 2020).

Figura 5: Fases do processo fermentativo durante o período de silo fechado



Fonte: Elaborado pelos autores.

Na fase anaeróbia I, não há oxigênio. Microrganismos anaeróbios colonizam o material, principalmente bactérias heterofermentativas, que produzem ácido lático e acético, fazendo com que o pH caia para 5,0 a 4,5. Na fase anaeróbia II, bactérias homoláticas (que produzem só ácido lático) dominam, reduzindo o pH para valores de 3,8 a 4,2. Na fase de estabilidade, a fermentação é rápida e preserva nutrientes. Ela só acaba ao abrir o silo, ou com entrada de oxigênio (Oliveira, 1998, p. 17).

Na fase de deterioração aeróbia, fungos e leveduras aeróbios recolonizam a silagem, consumindo carboidratos solúveis e reduzindo a qualidade. Por isso, é recomendado retirar o material por faixas (no caso de silos de superfície ou trincheira), ou vedar bem o silo *bag* após abertura (Zopollatto, 2020, p. 44).

Perdas na ensilagem são inevitáveis. Durante o processo de ensilagem, parte das perdas é inerente à respiração vegetal e à fermentação da forragem. Entretanto, a presença de oxigênio favorece o crescimento de microrganismos indesejáveis, como leveduras e fungos, aumentando as perdas de matéria seca e nutrientes por deterioração aeróbia, as quais podem ser minimizadas por adequada compactação e vedação do silo (Kung Jr., 2010, p. 3).

4.3 Como fazer a reidratação dos grãos para ensilagem

A reidratação de grãos para ensilagem inicia-se com a moagem do material, que pode ocorrer em moinhos alimentados por trator ou estacionários. É essencial considerar o tamanho da partícula para garantir a nutrição adequada de ruminantes, animais que possuem estômagos complexos, como bovinos e ovinos. No caso do milho, o diâmetro geométrico médio (DGM), que representa o tamanho médio das partículas, deve estar entre 1,5 e 3,0 mm. Esse ajuste evita que partículas grosseiras reduzam a absorção do amido, um importante carboidrato energético, e impede que partículas muito finas causem acidose ruminal, uma doença metabólica decorrente da fermentação excessiva no estômago (Piran Filho *et al.*, 2024, p. 2).

Em condições específicas, o milho pode ser moído até o ponto de fubá para elevar a digestibilidade e o ganho de peso ou produção de leite, mas exige atenção ao comportamento alimentar e aos sintomas de doenças metabólicas. Se as partículas superarem 3,0 mm, o tempo de vedação do silo deve ser

maior para que o amido seja devidamente aproveitado (Gomide *et al.*, 2023, p. 2). Para o sorgo, o tamanho de partícula deve variar entre 1,0 e 3,0 mm (Santos *et al.*, 2019; p. 2) e, para o milheto, entre 1,0 e 2,0 mm (Jesus *et al.*, 2022, p. 2597).

A umidade da silagem de grãos reidratados deve ser mantida entre 30 e 35% por meio de uma hidratação homogênea, garantindo que o processo fermentativo ocorra sem falhas. Geralmente, utiliza-se a aspersão de água com mangueira de forma manual ou mecânica. Em moinhos tracionados por trator, é possível adaptar a mangueira para que o milho seja hidratado logo após a moagem.

Existem alternativas para umedecer a massa, como o uso de resíduos agroindustriais úmidos ou soro de leite (Cruz, 2021, p. 10). O manejo dependerá da disponibilidade de recursos e mão de obra na propriedade, mas é fundamental medir com precisão a quantidade de água necessária para atingir o teor de umidade desejado e assegurar a uniformidade da silagem. O cálculo de variação de líquidos (Rezende *et al.*, 2014, p. 214) pode ser aplicado para alcançar esse objetivo:

$$\Delta L = \frac{[MU \times (UF - UI) / 100 - UF]}{ME}$$

Onde Δ L é a variação do líquido em litros, MU é a massa do produto úmido, UF é a umidade final, UI é a umidade inicial e ME é a massa específica do líquido, dada em quilograma por litro (kg L^{-1}).

Após o cálculo e a hidratação, um manejo prático que pode ser adotado é o teste do bolinho (Figura 6), ou, verificar a aparição da linha negra na base do grão (Figura 7). Exemplo: para 1 tonelada de silagem com 35% de umidade e grão com 13%, adicione 338,46 litros de água. Fórmula: Litros = [1000 x (35 – 13) / 100 – 35) / 1]. Assim, atinge-se 35% de umidade.

Figura 6: Teste do bolinho para verificar teor de umidade adequado na ensilagem de grãos úmidos



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 7: Linha negra no grão de milho indicando umidade ideal, entre 35% e 40%, para o processo de ensilagem

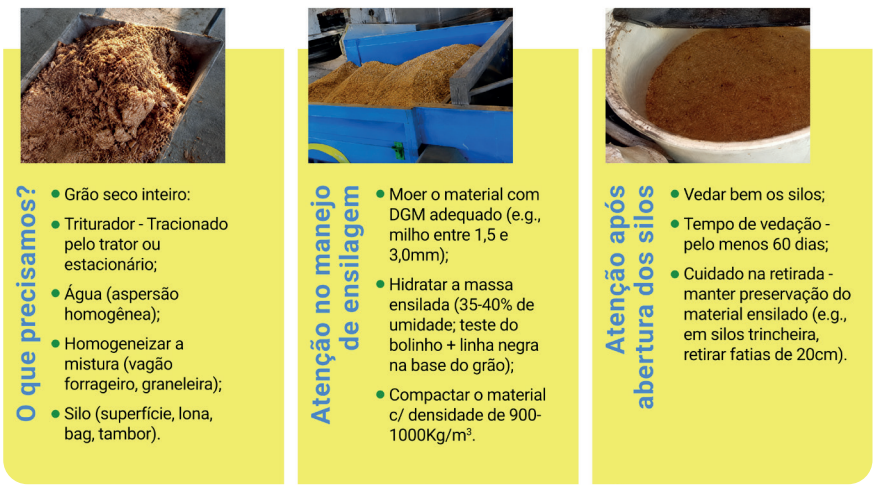


Fonte: Elaborado pelos autores.

Os produtores rurais têm diversas possibilidades de ensilar grãos reidratados, com muitas opções de moagem do material e, ainda, mais opções para hidratar a massa ensilada e possíveis silos para acondicionar a silagem. Os principais mate-

riais empregados na reidratação de grãos moídos, bem como os cuidados essenciais de manejo, estão detalhados no gráfico esquemático da Figura 8.

Figura 8: Principais pontos necessários e atenção no manejo da ensilagem de grãos reidratados



Fonte: Elaborado pelos autores.

4.4 Características fermentativas da silagem de grãos reidratados

A produção de silagem baseia-se na remoção do oxigênio através da compactação da massa no silo. Esse processo permite uma fermentação anaeróbica - realizada por microrganismos que vivem sem oxigênio. O resultado é a produção de ácido lático, que preserva os nutrientes do material original (Muck *et al.*, 2020, p. 767). Na ensilagem de grãos reidratados, a conversão de carboidratos em ácidos orgânicos é similar à de plantas inteiras. No entanto, a presença de microrganismos indesejáveis é menor. Isso ocorre devido ao baixo teor de umidade e à

alta densidade da silagem, que fica entre 900 e 1000 kg m-3. Em comparação, a planta inteira atinge apenas 500-600 kg m-3. Essas condições inibem microrganismos aeróbios (que dependem de oxigênio), como as enterobactérias, que proliferam em meios úmidos (Silva *et al.*, 2025, p. 128).

Os grãos reidratados, geralmente, possuem menos proteína e amônia. Esse fator evita a ação excessiva de bactérias como os clostrídeos. Esses microrganismos prejudicam a qualidade da silagem e geram a fermentação butírica, responsável por odores de podridão e manchas escuras (Silva *et al.*, 2025, p. 127). Além disso, a fermentação acética é reduzida. O motivo é a menor população de bactérias heterofermentativas - aquelas que produzem ácido lático e acético ao mesmo tempo. Em silagens de milho de planta inteira, é comum encontrar bactérias como *Lactobacillus buchneri* e *Lactobacillus brevis*. Isso, raramente, acontece nos grãos reidratados (Carvalho *et al.*, 2017, p. 589).

As silagens de grãos reidratados são menos ácidas que as de planta inteira. Isso ocorre porque a fermentação lática é menos intensa nesse material. Silagens de milho ou sorgo bem feitas apresentam pH entre 3,8 e 4,2. Já nos grãos reidratados, o pH fica entre 4,0 e 4,8 (Jesus *et al.*, 2022, p. 2602; Silva *et al.*, 2024, p. 11). A causa é a menor quantidade de bactérias homoláticas (que produzem apenas ácido lático), como *Lactobacillus* e *Pediococcus*. Esses microrganismos vivem, principalmente, nas folhas e na base das plantas, e não nos grãos (Yu *et al.*, 2019, p. 16), contudo, essa característica não reduz o valor nutritivo do grão reidratado. As diferenças no padrão fermentativo são bem descritas na literatura (Tabela 1).

Tabela 1: Características fermentativas de silagens de planta inteira e grãos reidratados de diferentes espécies em estudos realizados nos últimos cinco anos.

Variável	Milho		Sorgo forrageiro		Milheto	
	Planta inteira	Grão reidratado	Planta inteira	Grão reidratado	Planta inteira	Grão reidratado
MS (%)	33,80	66,40	26,18	65,0	29,60	66,37
pH	3,87	4,80	4,08	4,00	4,03	4,81
N-NH³ (%)	7,01	4,34	5,15	0,83	-	5,81
Ácido lático (g kg-1)	4,65	1,49	10,57	8,81	11,40	10,10
Ácido acético (g kg-1)	1,17	0,81	2,65	0,08	2,26	2,50
Ácido butírico (g kg-1)	0,00	0,10	0,37	0,24	0,00	0,00
Etanol (g kg-1)	-	0,04	3,17	0,76	-	9,99
Referências	Murta *et al.*, 2025	Silva *et al.*, 2025	Souza *et al.*, 2023	Fernandes *et al.*, 2022	Zhao *et al.*, 2024	Jesus *et al.*, 2022

MS = teor de matéria seca. N-NH³ = teor de nitrogênio amoniacal com base no nitrogênio total. Ácidos lático, acético, butírico e etanol com base na matéria seca. Milho (*Zean mays*L.). Sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* L.). Milheto (*Pennisetum glaucum* L.).

Fonte: Elaborado pelos autores.

Após a ensilagem, é essencial monitorar, continuamente, a qualidade da silagem para detectar falhas operacionais que afetem sua integridade nutricional. A figura a seguir foi estruturada como uma ferramenta de diagnóstico e controle (*checklist*), visando à identificação precoce de inconformidades e a aplicação de medidas corretivas. Tal acompanhamento é essencial para assegurar a eficiência do processo fermentativo e a preservação do valor nutricional dos grãos.

Figura 9: Pontos de atenção e correções necessárias na ensilagem de grãos reidratados



Fonte: Elaborado pelos autores.

5

Aditivos utilizados na reidratação de grãos moídos

A utilização de aditivos na ensilagem de grãos reidratados representa uma estratégia fundamental para otimizar a qualidade fermentativa e o valor nutricional do produto, especialmente, em condições em que a fermentação natural pode ser inadequada ou lenta.

Os aditivos desempenham papel crítico na redução de perdas de matéria seca, na aceleração do processo fermentativo, na melhoria da estabilidade aeróbia e na maximização da digestibilidade de nutrientes, contribuindo, significativamente, para a eficiência alimentar e o desempenho animal.

Figura 10: Principais objetivos da adição de aditivos em silagem de grãos reidratados



Fonte: Elaborado pelos autores.

A seleção adequada do tipo de aditivo deve considerar fatores como disponibilidade regional, custo-benefício, características do grão a ser ensilado, condições ambientais e objetivos específicos de produção, garantindo que o investimento resulte em retorno econômico positivo e melhoria mensurável na qualidade da silagem.

Os aditivos utilizados no processo de ensilagem podem ser enquadrados em uma ou mais categorias baseadas em seus efeitos sobre a silagem: estimulantes da fermentação, inibidores da fermentação, inibidores da deterioração aeróbica, nutrientes e absorventes (Muck *et al.*, 2018, p. 3380-3981). Esses aditivos, produtos de uso comercial ou não, podem atuar reduzindo as perdas de nutrientes ou ainda melhorar aspectos nutritivos do substrato ensilado (Costa *et al.*, 2017, p. 2).

Aditivos microbianos (inoculantes bacteriano-enzimáticos) representam a categoria mais moderna e eficiente de aditivos, contendo microrganismos selecionados (principalmente bactérias ácido-láticas como *Lactobacillus spp. e Pediococcus spp.*) e enzimas (proteases, amilases e celulases) que promovem fermentação rápida e eficiente. Esses aditivos são, particularmente, eficazes em reduzir perdas de matéria seca em até 37,51% em comparação com silagem de milho sem inoculante (Cruz, 2021, p. 8). Os inoculantes apresentam vantagem adicional de melhorar a digestibilidade de componentes específicos como proteína bruta, fibra em detergente neutro e fibra em detergente ácido. Os aditivos nutricionais e absorventes absorvem o excesso de umidade, ou fornecem substrato para fermentação microbiana, acelerando a queda de pH e promovendo fermentação mais eficiente. Como exemplo, temos o melaço, que além de fornecer energia, contribui com minerais e vitaminas que favorecem o crescimento microbiano, e o soro de leite, um subproduto da indústria láctea, que funciona como aditivo multifuncional, fornecendo carboidratos solúveis (lactose), proteína, minerais e microrganismos naturais que promovem fermentação. Esses aditivos são, particularmente, úteis

em grãos com baixo teor de carboidratos solúveis ou quando há necessidade de acelerar fermentação em condições ambientais desfavoráveis.

Uma análise econômica comparativa evidencia que o investimento em aditivos para silagem de grãos reidratados é, rapidamente, compensado pelos benefícios obtidos. Considerando uma propriedade que ensila 10 toneladas de grãos, a utilização apenas de água resulta em perdas de aproximadamente 5,85%, o que corresponde a 585 kg de matéria perdida, equivalente a um prejuízo de R$ 1.170,00 (considerando o valor de R$ 2,00 por kg). Por outro lado, com o uso de inoculante, as perdas são reduzidas para 3,84%, correspondendo a 384 kg, ou R$ 768,00 de prejuízo. Dessa forma, observa-se uma redução de perdas de 201 kg, o que representa uma economia de R$ 402,00. Considerando que o custo do inoculante varia entre R$ 200,00 e R$ 300,00, verifica-se que o investimento é recuperado apenas pela diminuição das perdas durante o processo de ensilagem. Além disso, é importante destacar que esse cálculo não considera benefícios adicionais, como o aumento da digestibilidade e a melhoria no desempenho animal, o que reforça ainda mais a viabilidade econômica do uso de aditivos (Cruz, 2021, p. 36).

5.1 Soro de leite

O soro de leite é um subproduto gerado da indústria de laticínios durante o processo de fabricação de queijo e outros produtos lácteos, em que são produzidos grandes volumes que podem causar sérios danos ao meio ambiente se forem descartados inadequadamente. Apresenta cor entre o verde e o amarelo, aspecto turvo e sabor fresco, com sabor ligeiramente doce ou ácido. Cerca de 55% dos nutrientes contidos no leite são retidos no soro, sendo, em média, 5% de lactose, proteínas solúveis 0,8%, lipídios 0,5%, sais minerais e 10% do extrato seco

(Gajo *et al.*, 2016, p. 27), além de possuir em sua composição vitaminas do complexo B (Dragone *et al.*, 2009, p. 929).

O soro de leite apresenta uma composição rica que o torna um aditivo, potencialmente, valioso para a ensilagem de grãos reidratados. Com um pH ligeiramente ácido de 5,33, ele é composto, principalmente, por lactose (4,62%), além de conter proteínas (0,76%), gordura (0,4%) e minerais, representados pelo teor de cinzas (0,43%). Esses componentes, que somam um teor de sólidos totais de, aproximadamente, 6,21% a 6,74%, podem contribuir para o processo de fermentação e para o valor nutricional da silagem (Jesus, 2020, p.35).

Devido às suas características físico-químicas, o soro de leite apresenta potencial significativo para uso na reidratação do milho e outros grãos. Além de fornecer umidade necessária para o processo fermentativo, o soro de leite fornece carboidratos solúveis na forma de lactose, que serve como substrato para as bactérias ácido-láticas (BALs). As BALs presentes no soro de leite podem favorecer a ocorrência de fermentação lática (Gajo *et al.*, 2016, p. 28), podendo, assim, melhorar o perfil fermentativo da silagem, ajudando a conservar o valor nutricional do alimento ensilado. O maior teor de ácido lático nas silagens com soro de leite se deve, possivelmente, ao aumento na população de BALs, proporcionando, assim, um maior teor de ácido lático nas silagens hidratadas com soro de leite, com média de 1,90% MS (Jesus, 2020, p. 29). O ácido lático em silagens é responsável pela rápida queda do pH até valores que impeçam que se tenha um ambiente propicio para o desenvolvimento de microrganismos indesejáveis. As silagens reidratadas com soro de leite apresentam menores valores de pH, o que é justificável pelo grau de acidez do soro de leite que contribui para a redução do pH da silagem.

Os benefícios do soro de leite para a fermentação de grãos reidratados foram demonstrados em diversos estudos. Em pesquisas com silagens de grãos reidratadas, o uso de soro de leite

melhorou a recuperação da matéria seca, reduzindo as perdas durante o processo fermentativo, além de obterem os menores valores de pH, devido ao grau de acidez do soro de leite, que contribui para redução do pH da silagem, o que é importante para a conservação dos nutrientes da massa ensilada (Tabela 2).

Tabela 2: Estabilidade aeróbica, recuperação de matéria seca (RMS), pH, nitrogênio amoniacal (N-NH³) das silagens de grãos reidratados com soro de leite

Variáveis	Culturas		
	Milheto	Milho	Sorgo
RMS (%)	99,46	93,59	96,59
pH	4,79	4,01	2,96
Perdas de MS (%)	-	6,40	1,84
Referências	Jesus (2020, p. 37)	Cruz (2021, p. 38)	Fernandes (2020, p. 42)

Fonte: Elaborado pelos autores.

A utilização do soro de leite como aditivo na ensilagem de grãos também representa uma oportunidade de aproveitamento de subproduto industrial, agregando valor nutricional à silagem enquanto resolve um problema ambiental. Laticínios que produzem grandes volumes de soro podem utilizá-lo na reidratação de grãos para alimentação animal, reduzindo custos de disposição e gerando um produto de maior valor agregado. Essa prática é, especialmente, relevante em regiões com concentração de indústrias lácteas, como o semiárido mineiro (Cruz, 2021, p. 10).

A disponibilidade e custo do soro de leite variam, significativamente, entre regiões, dependendo da proximidade de indústrias de laticínios. Em áreas com fácil acesso ao soro de leite, seu uso como aditivo na ensilagem de grãos reidratados é, economicamente, viável e, ambientalmente, benéfico. No entanto, em regiões onde o soro não está disponível, ou tem custo elevado, outras alternativas como melaço ou inoculantes

bacteriano-enzimáticos podem ser mais apropriadas. A decisão sobre qual aditivo utilizar deve considerar a disponibilidade local, custos de aquisição e objetivos específicos de fermentação (Jesus, 2020, p. 8).

5.2 Resíduo industrial de tomate

Os subprodutos agrícolas do tomate têm alto teor de umidade e nutrientes valiosos que aumentam a qualidade da silagem (Pereira *et al.*, 2017, p. 4999), tornando-os uma opção adequada para a reidratação de grãos se estratégias adequadas forem adotadas. O resíduo industrial de tomate (RIT) (Figura 11) é composto, basicamente, de sementes e cascas, podendo apresentar pequena quantidade de polpa, sendo uma das dificuldades para a utilização desse alimento na alimentação animal a grande variabilidade nutricional que se dá em função da proporção de cascas e sementes (Tsatsaronis e Boskou, 1975, p. 423). Devido ao alto teor de fibra (> 40%), o resíduo de tomate é classificado como volumoso, e a maior parte dos nutrientes está contida nas sementes, com altos teores de proteína (29%) e lipídeos (20%) (Denucci, 2010, p. 17; Pérsia, 2003, p. 141). A composição do resíduo pode variar de 20 a 25% de proteína bruta com 13% mais lisina comparada ao farelo de soja, sendo também boa fonte de vitaminas do complexo B e concentrações razoáveis de vitamina A (Esmail, 1999).

Figura 11: resíduo industrial de tomate.



Fonte: Elaboração pelos autores.

O RIT tem uma composição nutricional adequada para alimentação de ruminantes, embora algumas características, como alto teor de umidade e níveis elevados de ácido acético no perfil de ácidos orgânicos, possam reduzir a eficiência da fermentação (Jamehshooran *et al.*, 2022, p. 48). Portanto, é importante equilibrar, cuidadosamente, os níveis de RIT usados para reidratar a silagem de grãos de milho para mitigar potenciais problemas causados pelas suas características.

O RIT é uma fonte proteica interessante, principalmente porque sua proteína resiste à degradação no rúmen, sendo mais bem aproveitada pelo metabolismo do animal. Essa característica, combinada com seu alto teor de gordura, faz dele uma boa opção para a fase final de engorda de bovinos em confinamento, pois pode melhorar a conversão dos alimentos em peso e resultar em uma carcaça com maior cobertura de gordura.

O RIT é um subproduto agroindustrial que contém altos teores de gordura bruta, fração fibrosa e lignina, além de menores teores de carboidratos totais (Silva, 2022, p. 41) (Tabela 3). Como resíduo industrial, a composição do RIT pode variar, dependendo do método de colheita e dos procedimentos de processamento utilizados na indústria. Os componentes nutricionais presentes no RIT podem explicar as alterações na sua composição bromatológica. Por exemplo, os teores de FDA e lignina podem contribuir, significativamente, para a menor digestibilidade da MS, aumento da fração fibrosa das silagens e degradabilidade ruminal da MS e FDN.

A lignina é um composto fenólico tóxico para microrganismos ruminais, causando redução da digestibilidade da MS e uma maior proporção de frações indigestíveis nessas silagens. Além disso, durante o processamento de tomates para polpa, a massa pode ser aquecida a temperaturas de até 120 °C e, no momento da ensilagem, ela pode contribuir para a desnaturação da proteína. O RIT possui alto teor de fibra e pode ser classificado como uma fonte de fibra não forrageira, justificando o aumento da fração fibrosa em silagens de milho reidratadas com RIT, em comparação com aquelas reidratadas apenas com água (Antunes *et al.*, 2025, p. 11).

Tabela 3: Composição química do subproduto úmido do tomate

Variável (MS%)	Resíduo industrial de tomate
Matéria seca (MS), %	15.7
Cinzas, % MS	4.32
Proteína bruta, % MS	19.9
Fibra em detergente neutro, % MS	51.6
Fibra em detergente ácido, % MS	45.4
Lignina, % MS	6.98
Extrato etéreo, % MS	5.85
Carboidratos não fibrosos, % MS	18.3
Nutrientes digestíveis totais, % MS	53.5

Fonte: Silva, 2022, p. 41.

Os resíduos do processamento de tomate podem apresentar níveis de umidade variáveis, pois são resíduos industriais submetidos a diferentes métodos de processamento, gerando subprodutos com composição nutricional variável (Silva *et al.*, 2009, p. 1052). A inclusão de subproduto de tomate contribui para dieta e estimula a mastigação e a salivação dos animais sem afetar, negativamente, a ingestão de matéria seca devido à distensão ruminal (Oliveira *et al.*, 2025, p. 444). Por outro lado, deve-se atentar ao aumento no teor de lignina, com maiores níveis de RIT na massa ensilada, pois pode afetar, negativamente, a digestibilidade da MS (Silva, 2022, p. 34) (Tabela 4).

Tabela 4: Composição química de silagens de grãos de milho reidratadas com níveis de resíduo industrial de tomate, % matéria seca (MS)

Variáveis (MS%)	RIT níveis, % matéria fresca	
	35	45
Matéria Seca (MN%)	66,4	58,5
Cinzas	2,48	2,45
Proteína Bruta	11,7	14,1
Fibra Em Detergente Neutro	12,3	13,1
Fibra Em Detergente Ácido	6,50	7,55
Hemicelulose	5,83	5,51
Lignina	3,25	3,29
Carboidrato Não Fibroso	69,4	64,9
Extrato Etéreo	4,08	5,44
Nutrientes Digestíveis Totais	83,6	83,0
N-NH^3(NT%)	4,34	7,09
Digestibilidade *in vitro* MS	74,6	74,8

Fonte: Adaptado de Silva, 2022, p. 41.

Durante os processos de fermentação, os materiais sofrem hidrólise de proteínas, amido e outros componentes (Tres *et al.*, 2020, p. 4). O teor de nitrogênio amoniacal (N-NH^3) é indicativo da qualidade da fermentação devido à proteólise durante a fermentação, e silagens mal preservadas tendem a

conter mais de 10,0% de nitrogênio total (Anjos *et al.*, 2022). Em silagens de milho reidratadas com níveis crescentes de inclusão de RIT (25% a 45%), os valores de nitrogênio total variaram entre 1,22 a 7,09%, indicando boa preservação (Silva 2022, p.33). Níveis acima dessa faixa podem prejudicar, significativamente, a degradação ruminal, devido ao elevado teor de fibra indigestível, além de elevar as concentrações de etanol. Silagens com altas concentrações de etanol podem indicar a presença de leveduras responsáveis por iniciar a deterioração aeróbica após a abertura dos silos (Muck *et al.*, 2020, p. 783).

Figura 12: Milho moído reidratado com resíduo industrial de tomate



Fonte: Antunes *et al.*, 2025.

Os níveis de 35% e 40% de RIT contribuem para melhorar os perfis de ácidos orgânicos em comparação com outras proporções de substituição, demonstrando maior produção de ácido láctico e menor geração de ácido butírico e etanol (Silva *et al.*, 2025, p. 128) (Tabela 5). Com base nessas premissas, as silagens de grãos de milho são altamente suscetíveis à deterioração aeróbica por serem ricas em carboidratos solúveis e amido. Nesse contexto, a inclusão de RIT é vantajosa na mitiga-

ção da deterioração aeróbica da silagem, visto que sua inclusão em níveis adequados proporciona menores flutuações de temperatura e pH após a abertura do silo.

Tabela 5: Produção de ácidos orgânicos em silagens de grãos de milho reidratadas com níveis de resíduo industrial de tomate (RIT)

Ácido orgânico (MS%)	RIT níveis, % matéria fresca	
	35	45
Ácido láctico	1,49	1,60
Ácido acético	0,81	0,95
Ácido butírico	0,10	0,06
Proporção de ácido láctico/acético	0,19	0,17
Etanol	0,04	0,08

Fonte: Silva *et al.*, 2025, p. 7.

Nas silagens de milho reidratadas com RIT, a baixa concentração de ácido acético — agente chave na supressão de fungos filamentosos e leveduras pós-abertura — contribui para a estabilidade fermentativa, preservando a matéria seca (MS), modulando a microbiota e mantendo a qualidade nutricional da silagem. Em relação aos parâmetros de fermentação, observa-se um valor de pH mais alto na silagem, o que pode ser atribuído ao maior teor de compostos nitrogenados nas silagens com RIT, que podem atuar como um agente tamponante para a massa ensilada (Antunes *et al.*, 2025, p. 261).

O uso de subprodutos industriais, como o RIT, é uma prática, ambientalmente, sustentável que previne o descarte inadequado em ambientes naturais, prevenindo, assim, potenciais danos ambientais (Coelho *et al.*, 2023, p. 1). Do ponto de vista econômico, esses subprodutos são, frequentemente, doados por empresas processadoras, ou adquiridos a baixo custo. No entanto, a aplicação do RIT para reidratar silagem de grãos de milho moídos permanece pouco pesquisada, com diversas áreas ainda necessitando de investigação.

5.3 Melaço

Segundo a ANVISA (2005), o melaço é definido como "produto obtido pela concentração do caldo de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) ou a partir da rapadura derretida". É um substrato rico em açúcares fermentescíveis e minerais, tais como manganês, magnésio, fósforo, potássio, zinco, sódio e cálcio, sendo considerado um bom substrato para o cultivo de bactérias ácido lácticas (Delgado, 1975).

Os efeitos do melaço na fermentação da silagem de grãos reidratados são relevantes para a qualidade e valor nutricional do produto final. O melaço possui características que o qualifica como um potencial aditivo a ser utilizado na ensilagem de grãos reidratados por apresentar elevadas concentrações de açúcares solúveis, a sacarose. Sua adição acelera a acidificação da massa ensilada, reduz o pH de forma mais rápida, o que é fundamental para a preservação dos nutrientes e para a estabilidade da silagem. Essa rápida queda do pH se deve ao aumento de substratos solúveis (sacarose) no meio, resultando em maior produção de ácidos, inibindo o crescimento de microrganismos indesejados e melhorando a conservação dos alimentos (Jesus, 2020, p. 29).

O uso de melaço como aditivo é uma estratégia eficaz para melhorar o padrão fermentativo de silagens, pois fornece energia adicional para os microrganismos fermentadores, e tem efeitos positivos no pH e nos níveis de ácido lático na silagem de gramíneas (Ayandiran *et al.*, 2024, p. 73). No entanto, o uso de melaço deve ser criterioso, especialmente em forragens com alto teor de umidade. Nessas condições, o ambiente favorece o desenvolvimento de bactérias do gênero *Clostridium*, cujas atividades fermentativas podem resultar na produção de ácido butírico, elevadas perdas de matéria seca e redução da qualidade da silagem (Kung Junior *et al.*, 2018, p. 4024).

O maior teor de ácido butírico nas silagens com melaço se deve, possivelmente, à limitada população epifítica de BALs nessas silagens, e, com a elevação de substratos pela adição de melaço, pode haver crescimento de microrganismos produtores desse ácido, como os *Clostridium spp.* (Jesus, 2020, p. 30) (Tabela 6). O valor nutritivo das silagens é, diretamente, afetado pela produção de ácido butírico, que promove o catabolismo de aminoácidos e perda de energia em decorrência da produção de hidrogênio (Neiva *et al.*, 1998, p. 478). São gastas duas moléculas de ácido lático para se produzir uma molécula de ácido butílico, liberando duas moléculas de CO2 e duas de H2O, implicando, assim, em perda de matéria seca e promovendo a diminuição do valor nutritivo das silagens (Jesus, 2020, p. 30).

Tabela 6: Composição bromatológica e parâmetros fermentativos na silagem de grãos de milheto reidratado com melaço

Parâmetro	**(% MS)**
Matéria Seca	67,38 %
Matéria Mineral	2,16 %
Proteína Bruta	13,61 %
Fibra em Detergente Neutro	17,59 %
Fibra em Detergente Ácido	3,67 %
Lignina	1,25 %
Hemicelulose	13,92 %
Estabilidade aeróbia	192 horas
RMS	98,95 %
pH	4,20
N-NH^3 (NT%)	7,15 %
Ácido Lático	0,89 %
Ácido Acético	0,14 %
Ácido Butírico	0,57 %
Etanol	1,62 %

RMS: Recuperação de matéria seca; N-NH^3: Nitrogênio Amoniacal; NT= nitrogênio total.

Fonte: Adaptado de Jesus, 2020, p. 36-38.

A adição de melaço, ao aumentar a disponibilidade de carboidratos solúveis, pode, inadvertidamente, favorecer a proliferação de leveduras, que convertem os açúcares em etanol, resultando em perdas expressivas de matéria seca. Esse fenômeno é, claramente, observado em silagens de forragens ricas em açúcares, que podem apresentar altas concentrações de etanol (Schmidt *et al.*, 2009, p. 234). Como exemplo desse efeito, temos a silagem de cana-de-açúcar, conhecidamente, afetada por ser propícia para a produção de etanol, devido ao alto teor de sacarose da cana, que é convertido em álcool (Queiroz *et al.*, 2015, p.137), afetando o padrão fermentativo da silagem e levando à significativa perda de matéria seca.

A disponibilidade de melaço varia conforme a localização geográfica e a proximidade de usinas de processamento de cana-de-açúcar. Em regiões produtoras de cana-de-açúcar, o melaço é, geralmente, disponível a custo relativamente baixo, tornando-o uma opção, economicamente, atrativa para reidratação de grãos. No entanto, em regiões onde não há produção local de cana-de-açúcar, o custo de transporte pode tornar o melaço, economicamente, inviável. O melaço é uma alternativa válida como aditivo na ensilagem de grãos, com potencial para melhorar a conservação e viabilizar a produção de silagem de boa estabilidade, desde que utilizado com critérios técnicos adequados para equilibrar seus efeitos fermentativos. A decisão de uso do melaço como forma de reidratar os grãos depende da disponibilidade e custo de aquisição em cada região (Jesus, 2020, p. 8).

5.4 Aditivos microbianos (Inoculantes bacteriano-enzimáticos)

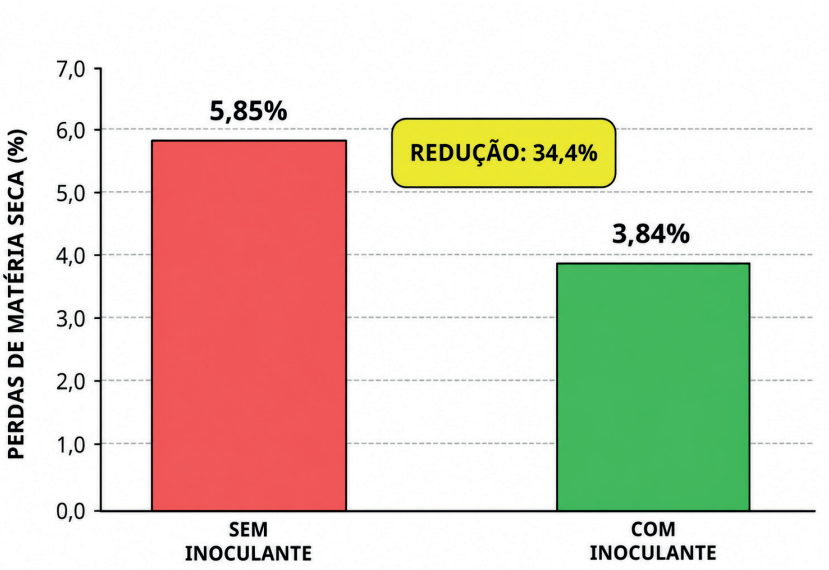
Os inoculantes bacteriano-enzimáticos são aditivos estimulantes não-nutritivos utilizados em silagens, visando acelerar o processo fermentativo e melhorar a conservação. São compostos por bactérias ácido-láticas selecionadas, adicio-

nadas, ou não, de enzimas, como celulases, amilases e hemicelulases. O objetivo do uso de inoculantes é fornecer uma população inicial elevada de BALs selecionadas, garantindo que esses microrganismos dominem a microbiota do material ensilado desde o início do processo fermentativo (Fernandes, 2020, p. 18).

As bactérias ácido-láticas utilizadas em inoculantes são selecionadas por sua capacidade de produzir ácido lático de forma eficiente, reduzindo rapidamente o pH e inibindo microrganismos indesejáveis. Diferentes cepas de BALs apresentam características distintas, sendo algumas mais adequadas para silagens de plantas inteiras enquanto outras são mais eficientes em silagens de grãos. As enzimas adicionadas aos inoculantes, como celulases e amilases, têm o objetivo de degradar estruturas celulares e aumentar a disponibilidade de carboidratos solúveis para as BALs, melhorando a eficiência da fermentação (Fernandes, 2020, p. 18).

Os efeitos dos inoculantes bacteriano-enzimáticos na qualidade da silagem de grãos reidratados foram demonstrados em diversos estudos. Em pesquisa com silagem de milho reidratado, as perdas de matéria seca foram 37,51% superiores na silagem sem inoculante em comparação à silagem com inoculante, com média de 3,84% de perda de matéria seca quando inoculante foi utilizado (Figura 13). A silagem de grão de milho sem inoculante durante o período de exposição aeróbia apresentou temperatura 1,40% maior em relação à silagem de milho com inoculante, indicando maior atividade microbiana e deterioração mais rápida (Cruz, 2021, p. 8).

Figura 13: Efeito do inoculante bacteriano-enzimático na perda de MS em silagem de milho reidratado



Fonte: Cruz, 2021, p. 8.

A maior digestibilidade da proteína bruta, fibra em detergente neutro e fibra em detergente ácido foram observadas na silagem com inoculante, demonstrando que, além de melhorar a conservação, os inoculantes também podem melhorar o valor nutricional da silagem. O uso do inoculante bacteriano-enzimático melhorou as características fermentativas, estabilidade aeróbia e valor nutricional da silagem de grãos de milho reidratada com água ou soro de leite. Esses resultados sugerem que os inoculantes são ferramentas valiosas para otimizar a qualidade de silagens de grãos reidratados (Cruz, 2021, p. 8).

No entanto, a eficácia dos inoculantes pode variar, dependendo de fatores como temperatura, umidade, disponibilidade de substrato e competição com microrganismos nativos. Em estudos com silagem de sorgo reidratado, o uso do inoculante enzimático-bacteriano não melhorou a estabilidade das

silagens de grãos reconstituídos de sorgo em comparação ao controle. Portanto, a resposta aos inoculantes pode ser variável e dependente das condições específicas de fermentação e das características do material ensilado. A seleção adequada do inoculante e a garantia de sua viabilidade são essenciais para obter os benefícios esperados (Martins, 2022, p. 8).

5.5 Reidratação com Água

A reidratação com água representa a alternativa mais simples, acessível e, economicamente, viável para aumentar a umidade de grãos secos destinados à ensilagem, sendo, particularmente, importante em regiões onde aditivos específicos não estão disponíveis, ou em situações em que o produtor busca minimizar custos iniciais de investimento.

Embora a água não forneça nutrientes adicionais, carboidratos fermentáveis ou microrganismos benéficos como outros aditivos, ela permite que o grão atinja a umidade necessária para fermentação adequada (35%), servindo como base fundamental para que processos fermentativos naturais ocorram (Pereira *et al.*, 2013, p. 3). No entanto, a reidratação com água apresenta limitações significativas em relação à qualidade fermentativa final, resultando em pH mais elevado, menor produção de ácido lático, maiores perdas de matéria seca e reduzida estabilidade aeróbia em comparação à silagem reidratada com soro de leite ou inoculante, sendo recomendada, principalmente, quando nenhuma alternativa estiver disponível, ou em pequenas quantidades para consumo imediato.

Quando os grãos são devidamente reidratados e ensilados, observa-se aumento da digestibilidade do amido em função das alterações estruturais promovidas durante a fermentação. Ao longo do período de ensilagem, ocorre degradação parcial das proteínas zeínas que compõem a matriz proteica do endosperma, resultando na desestruturação da matriz amido-pro-

teína e maior exposição dos grânulos de amido à ação enzimática e microbiana, favorecendo seu aproveitamento pelos animais (Hoffman *et al.*, 2011, p. 2469). Assim, quando utilizamos a água no processo de reidratação em grãos de milho e sorgo, moídos finos, verificamos maior degradabilidade da matéria seca (71,6 e 67,1%, respectivamente) que quando moídos secos (42,8 e 41,1%, respectivamente) (Pereira, 2012, p. 6). Também se nota melhora na estabilidade aeróbia da silagem reidratada, com uma média de 40 horas de exposição ao ar, para iniciar o processo de perda da estabilidade aeróbia (Rezende *et al.*, 2014, p. 218).

As silagens de grãos de sorgo reidratadas com os teores de umidade de 30, 35 e 40% conseguem manter maiores estabilidades, com valores de pH e temperatura ideais (Martins, 2022, p. 27). Isso se deve, principalmente, aos teores adequados de umidade que contribuem para um melhor perfil fermentativo da massa ensilada, favorecendo o desenvolvimento de bactérias ácido-láticas e produção de ácidos orgânicos. O ácido lático é o principal responsável pela rápida redução do pH da silagem, enquanto o ácido acético exerce importante atividade antifúngica, contribuindo para a inibição do crescimento de leveduras e fungos e para o aumento da estabilidade aeróbia da massa ensilada (Kung Jr. *et al.*, 2018, p. 4023).

As silagens reidratadas com, aproximadamente, 30% de água proporcionam o melhor balanço entre perfil fermentativo e perdas por efluentes e matéria seca, mantendo a estabilidade aeróbia e o valor nutritivo. Por outro lado, o aumento do teor de água eleva as perdas por efluentes, gases e matéria seca, além de aumentar os teores de nitrogênio não proteico, em decorrência da intensificação da proteólise durante a fermentação e da maior concentração de aminoácidos livres (Cruz, 2021, p. 14).

A estabilidade aeróbia da silagem é um problema em países de clima quente e tem como consequências o aumento das perdas fermentativas e a diminuição do valor nutricional da silagem produzida (Ashbell *et al.*, 2002, p. 261). Assim, em

regiões semiáridas, devido às altas temperaturas, que favorecem as perdas de umidade durante a confecção da silagem, recomenda-se a reidratação com 35% de umidade, não gerando problemas com a quebra de estabilidade aeróbia ou perdas por efluentes (Cruz, 2021, p. 31).

A água na reidratação de grãos secos para ensilagem é fundamental para ajustar o teor de umidade do material, criando condições adequadas para a fermentação anaeróbica microbiana. Martins (2022, p. 29) afirma que a umidade ideal, normalmente, de 30% a 40%, para silagens de grãos de sorgo, é suficiente para ativar a atividade fermentativa sem prejudicar o desenvolvimento das bactérias homofermentativas responsáveis pela produção de ácido láctico, importante para a conservação da silagem.

A reidratação com água é ferramenta importante que permite viabilizar ensilagem de grãos mesmo em situações em que aditivos não estão disponíveis, representando avanço significativo em relação a manter grãos secos com baixa digestibilidade. A recomendação é que os produtores devem priorizar investimento em aditivos especializados, sempre que possível, reservando a água apenas para situações de indisponibilidade absoluta de alternativas.

6

Composição química e valor nutricional da silagem de grãos reidratados

6.1 Composição químico-bromatológica

A composição químico-bromatológica é o conjunto de determinações químicas que caracterizam a composição do alimento, permitindo avaliar seu valor nutritivo. Os principais componentes avaliados são matéria seca (MS), matéria mineral, proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), lignina e extrato etéreo (EE). A matéria seca representa a porcentagem de componentes não-aquosos do alimento, sendo essencial para calcular o consumo de nutrientes pelos animais. Nesse cenário, silagens de grãos reidratados apresentam teores de matéria seca variáveis conforme o nível de reidratação utilizado (Martins, 2022, p. 8).

A composição química da silagem de grãos de cereais reidratados é um fator determinante para a otimização do seu valor nutricional, influenciando a digestibilidade, a disponibilidade de amido e proteínas, e, consequentemente, o desempenho produtivo dos animais. Uma maneira eficaz de aprimoramento dessa composição é aplicar diferentes métodos de processamento em grãos em estágio avançado de maturação, com o objetivo de potencializar a fermentação do amido no rúmen (Ferraretto, Crump e Shaver, 2013, p. 539).

Podem-se destacar, como principais métodos de processamento dos grãos, a moagem (Owsley *et al.*, 1981, p. 556; Healy *et al.*, 1994, p. 2227), a laminação e a floculação (Lage *et al.*, 2017, p. 7026). Esses procedimentos promovem alterações físicas na estrutura dos grãos, aumentando a área de superfície disponível para a ação microbiana e enzimática. Como consequência, ocorre maior exposição dos grânulos de amido à fermentação ruminal e à digestão pós-ruminal, favorecendo o aproveitamento dos nutrientes pelos animais (Correa *et al.*, 2002, p. 3008).

A moagem fina do grão seco para processo de ensilagem potencializa o efeito da reidratação, além de facilitar o

acesso dos microrganismos ao amido dos grãos, reduzindo o custo final dos grãos ensilados reidratados comparado ao produto seco, quando se considera a praticidade da armazenagem (Jesus, 2020, p. 16).

Como mencionado anteriormente, a reidratação tem como objetivo ajustar a umidade dos grãos para níveis que favoreçam a fermentação adequada, entre 30-35% (Silva, 2022, p. 15), pois situações fora da faixa recomendada podem ocasionar perdas por formação de efluentes, prejudicando a fermentação e a estabilidade do produto. O teor de matéria seca é decisivo para o sucesso da ensilagem, uma vez que deve estar entre 65 e 70%, a fim de minimizar perdas e potencializar o processo fermentativo. Silagens que utilizam aditivos na composição, como, por exemplo, o soro de leite e melaço, apresentam maiores teores de MS em relação às silagens reidratadas somente com água (Cruz, 2021, p. 33). Esse efeito decorre da maior concentração intrínseca de MS presente nos aditivos, o que potencializa sua contribuição para a estabilidade e a qualidade nutricional da silagem.

A proteína bruta é um componente essencial para o crescimento e manutenção dos tecidos animais, sendo, particularmente, importante em dietas para animais em crescimento e lactação. O milheto apresenta teor proteico superior ao do milho e ao sorgo, com 12,0% de proteína bruta em comparação aos 7,8% do milho e 7,0% do sorgo. Esse maior teor proteico do milheto o torna uma alternativa valiosa em regiões onde a qualidade proteica das dietas é limitada (Jesus, 2020, p. 12) (Tabela 7).

Tabela 7: Composição química de silagens de milheto reidratado com água, soro de leite e melaço

Variáveis (% MS)	Silagem reidratada com		
	Água	Soro de Leite	Melaço
Matéria seca (% MN)	66,37	67,50	67,38
Cinzas	2,15	2,75	2,16
Proteína bruta	13,07	13,59	13,61
Fibra em detergente neutro	16,69	15,82	17,59
Fibra em detergente acido	4,45	3,93	3,67
Lignina	1,29	1,28	1,25
Hemicelulose	12,24	11,89	13,92

MS = matéria seca. MN = matéria natural.

Fonte: Jesus, 2020, p. 36.

O processo de reidratação e ensilagem aumentam a digestibilidade do amido, porém, não altera significativamente o teor de proteína do grão. No entanto, a adição de aditivos ou inoculantes microbianos pode modificar a composição química do produto, incluindo seu teor de proteína bruta (PB) (Antunes *et al.*, 2025, p. 8). Na silagem de grãos de sorgo submetida a diferentes formas de reconstituição, os valores de PB variam entre 7,58% a 8,92%, possivelmente, em razão da baixa degradação dos compostos protéicos causados pela atividade microbiana (Fernandes, 2020, p. 42; Martins, 2022, p. 40), o que evita atividade excessiva de bactérias, como os clostrídeos, que pioram a qualidade da silagem e produzem fermentação butírica responsável pelo odor de podridão e pontos escuros.

Os grãos de milho e sorgo são ricos em carboidratos totais (CHT) e amido (65-75% da MS), sendo este o principal componente energético. Embora os grãos sejam concentrados energéticos, a presença de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) são relevantes. A ensilagem pode promover a solubilização de parte da FDN, especialmente com a adição de aditivos, que promovem o afrouxamento estrutural do arranjo de fibras presentes no pericarpo do grão, favore-

cendo a ação das bactérias fibrolíticas, o que pode aumentar a digestibilidade da fração fibrosa (Cruz, 2021, p. 33). A FDN representa o conteúdo de celulose, hemicelulose e lignina, componentes estruturais das plantas que afetam a digestibilidade e o consumo de alimento. Silagens de grãos reidratados apresentam valores de FDN variáveis conforme o tipo de grão e o nível de reidratação. Em estudos com silagem de sorgo reidratado, para fibra em detergente neutro corrigido para cinzas e proteínas, houve efeito quadrático com ponto mínimo de 7,66% na umidade de 38,21%, indicando que existe uma umidade ótima que minimiza o conteúdo de fibra (Martins, 2022, p. 8).

A FDA representa, principalmente, celulose e lignina, componentes mais resistentes à degradação ruminal. Valores elevados de FDA indicam menor digestibilidade do alimento. Os teores de PB, FDN, FDA, lignina e hemicelulose não foram influenciados pelo uso dos aditivos em estudos com silagem de milheto reidratado, indicando que a escolha de aditivos não altera, significativamente, a composição bromatológica, mas sim a qualidade fermentativa (Jesus, 2020, p. 8). A hemicelulose é a fração da fibra mais, facilmente, degradável no rúmen, sendo importante para a energia disponível aos microrganismos ruminais. A lignina é um composto fenólico estrutural que reduz a digestibilidade da matéria seca e de outros nutrientes complexados a ela (*e.g*, proteínas) (Martins, 2022, p. 8). As concentrações de FDA e lignina em silagens de grãos de cereais, geralmente, são reduzidas quando comparadas àquelas de silagens de planta inteira, não sendo limitante para a digestibilidade do alimento.

6.2 Digestibilidade e cinética ruminal

A digestibilidade do alimento representa a fração de nutrientes que é degradada e absorvida ao longo do trato gastrintestinal, sendo fundamental para determinar o valor

biológico do alimento para além da composição químico-bromatológica. A silagem de grãos reidratados apresenta vantagens significativas em digestibilidade em comparação aos grãos secos, especialmente para o amido. Os processos de trituração, reidratação e ensilagem podem aumentar a digestibilidade do amido no rúmen e trato gastrointestinal dos ruminantes, através da redução da integridade da matriz proteica que circunda os grânulos de amido, permitindo maior ataque enzimático das enzimas microbianas (Fernandes, 2020, p. 14).

Cruz *et al.* (2021) realizaram um ensaio de digestibilidade *in vitro* da matéria seca em silagens de milho reidratado, com, ou sem, inoculante microbiano, e não observaram efeito significativo do inoculante, mas concentrações de MS digestível de 79,26%, em média (Tabela 8), fato que indica elevado valor nutricional para esse tipo de alimento. Por outro lado, os autores encontraram maior digestibilidade da proteína bruta, fibra em detergente neutro e fibra em detergente ácido na silagem confeccionada com inoculante, demonstrando que a escolha de aditivos pode afetar a digestibilidade de alguns nutrientes. Como mencionado anteriormente, a reidratação dos grãos, por si só, incrementa a digestibilidade do amido devido à quebra da matriz proteica.

Tabela 8: Digestibilidade *in vitro* da matéria seca e proteína bruta, em função do nível de umidade na silagem de grão de sorgo reidratada SEM e COM inoculante

Variável	Inoculante	Umidade (%)			
		25	30	35	40
Digestibilidade *in vitro*, % MS	SEM	86,7	87,3	86,7	91,2
	COM	83,0	86,5	88,9	91,4
Proteína bruta (%)	SEM	8,10	8,31	8,39	8,62
	COM	8,55	8,60	8,67	8,92

Fonte: Martins, 2022, p.40.

A cinética ruminal, que descreve a taxa de degradação de diferentes componentes do alimento no rúmen, é afetada pela qualidade da silagem. Silagens de boa qualidade fermentativa, com pH baixo e elevada concentração de ácido lático, apresentam melhor degradação ruminal. A fermentação adequada durante a ensilagem pode melhorar a degradação ruminal através da quebra parcial de estruturas celulares e da produção de compostos que facilitam o ataque microbiano durante a fermentação ruminal (Fernandes, 2020, p. 14).

A eficiência de utilização do amido é, particularmente, importante em sistemas de confinamento de bovinos, em que o amido é a principal fonte de energia. A silagem de sorgo reidratado, por exemplo, apresenta potencial especial de melhoria em digestibilidade, devido à menor digestibilidade inicial do sorgo em comparação ao milho. Estudos demonstram que o processamento adequado do sorgo através de moagem fina e reidratação podem resultar em digestibilidade comparável ou superior à do milho, tornando o sorgo uma alternativa, economicamente, viável em regiões onde sua produção é maior (Fernandes, 2020, p. 14).

A manutenção da qualidade fermentativa durante o armazenamento é essencial para preservar a digestibilidade da silagem. Silagens expostas à deterioração aeróbia apresentam redução na digestibilidade, devido ao crescimento de fungos e oxidação de nutrientes. A estabilidade aeróbia adequada, alcançada através de boa fermentação inicial e manejo adequado do silo, são fundamentais para manter a qualidade nutritiva da silagem durante todo o período de utilização (Cruz, 2021, p. 8).

A digestibilidade da silagem de grão reidratado é maior do que a da silagem de planta inteira e de grão úmido devido ao processo de ensilagem. Durante a fermentação, ocorre a hidrólise (quebra) da matriz proteica que envolve os grânulos de amido no endosperma do grão. Assim, a digestibilidade da matéria seca e da proteína bruta pode resultar da maior dispo-

nibilidade de amido, a qual é promovida pela proteólise ocorrida durante a fermentação da silagem, melhorando o aproveitamento do nutriente pelo animal (Cruz, 2021, p. 33).

Zopollatto *et al.* (2009), em trabalho de revisão, relatam que há alta diversidade do uso de inoculantes, sendo constituídos por bactérias homofermentativas, heterofermentativas, da mistura destas, bem como da inclusão de enzimas. Contudo, a eficiência desses produtos comerciais nas silagens depende, dentre outros fatores, da presença de substrato adequado, da população epífita da forragem e da habilidade do inoculante em se desenvolver, rapidamente, na massa ensilada (Zopollatto *et al.*, 2009, p. 170; Muck *et al.*, 2018, p. 3980). Nesse contexto, a aplicação de inoculante em silagens de grãos de sorgo com baixa umidade pode resultar em redução da digestibilidade, possivelmente, devido à menor disponibilidade de água no material e à presença mais eficiente das bactérias epifíticas, que podem competir com o inoculante (Martins, 2022, p. 29).

7

Perspectivas futuras

A silagem de grãos reidratados representa uma tecnologia viável e promissora para intensificação da produção animal no semiárido mineiro, combinando benefícios nutricionais, práticos e econômicos. As pesquisas científicas demonstram que a reidratação de grãos como milho, sorgo e milheto, seguida de ensilagem em condições anaeróbicas, resultam em melhoria significativa da digestibilidade do amido e do valor nutritivo do alimento. A tecnologia permite armazenamento seguro de alimentos de qualidade durante períodos de escassez de forragem, contribuindo para maior estabilidade na alimentação animal ao longo do ano.

A qualidade fermentativa da silagem é determinante para a redução de perdas durante o armazenamento, e o uso de aditivos pode intensificar e direcionar o processo fermentativo, garantindo maior estabilidade e eficiência na conservação do material ensilado. O soro de leite demonstrou ser aditivo eficaz, melhorando, significativamente, a produção de ácido lático e reduzindo perdas de matéria seca em comparação à água. Os inoculantes bacteriano-enzimáticos também apresentam potencial significativo, melhorando a estabilidade aeróbia e a digestibilidade da silagem. A combinação de aditivos pode resultar em efeitos sinérgicos, mas a disponibilidade e custos locais devem ser considerados na seleção.

A aplicabilidade da tecnologia no semiárido mineiro é, particularmente, relevante devido às características climáticas da região. A tolerância do milheto ao déficit hídrico o torna, especialmente, adequado para o semiárido, enquanto a disponibilidade de soro de leite em regiões com indústrias lácteas oferece a oportunidade de aproveitamento de subproduto. A infraestrutura necessária é, relativamente, simples e acessível para pequenos e médios produtores, tornando a tecnologia, potencialmente, viável em larga escala.

Quanto às perspectivas futuras, é fundamental ampliar pesquisas sobre os efeitos da silagem de grãos reidratados no

desempenho animal, considerando parâmetros, como ganho de peso, produção de leite, eficiência de conversão alimentar e saúde ruminal. Estudos devem explorar a interação dos aditivos e inoculantes com a microbiota ruminal, buscando maximizar a digestibilidade e o metabolismo dos nutrientes. Outros focos para avanços são a avaliação do impacto de diferentes processos de reidratação e fermentação no valor nutricional dos grãos e a sustentabilidade econômica e ambiental dos sistemas que adotam essa tecnologia. A aplicação crescente de subprodutos agroindustriais na reidratação também abre vias para pesquisas voltadas à sustentabilidade e à redução de custos na alimentação animal.

Em síntese, a silagem de grãos reidratados representa uma contribuição significativa para a alimentação animal sustentável no semiárido mineiro, permitindo melhor aproveitamento de recursos locais e redução de dependência de alimentos importados de outras regiões. A tecnologia se alinha com objetivos de sustentabilidade ambiental, permitindo aproveitamento de subprodutos como soro de leite e redução de perdas alimentares. A melhoria da eficiência produtiva, através de melhor qualidade nutricional das dietas oferecidas aos animais, contribui para maior rentabilidade das propriedades rurais. A consolidação dessa prática exige aprofundamento dos estudos sobre manejos ideais, avaliação dos efeitos em longo prazo no desempenho animal e desenvolvimento de protocolos adaptados a diferentes contextos produtivos, fortalecendo sua adoção e otimização nas propriedades rurais.

Glossário

Ácido Acético: Ácido orgânico produzido durante a fermentação (principalmente por bactérias heterofermentativas). Atua como um potente inibidor de fungos e leveduras, melhorando a estabilidade aeróbia da silagem após a abertura.

Ácido Butírico: Ácido orgânico indesejável na silagem, resultante da fermentação por bactérias do gênero *Clostridium*. Sua presença indica má conservação, conferindo odor de podridão e reduzindo o consumo pelos animais.

Ácido Lático: Principal produto da fermentação desejável no silo. É um ácido forte que promove a rápida queda do pH, inibindo microrganismos deteriorantes e preservando os nutrientes.

Aleurona: é uma camada de células situada na parte mais externa do endosperma dos grãos de cereais (como sorgo, cevada e milho), localizada logo abaixo da casca (pericarpo).

Bactérias Amilolíticas: Microrganismos do rúmen especializados na degradação e fermentação do amido.

Bactérias Celulolíticas: Microrganismos ruminais responsáveis pela quebra da celulose e outros componentes da parede celular vegetal.

Bactérias Heterofermentativas: Bactérias ácido-láticas que, além do ácido lático, produzem outros compostos como ácido acético, etanol e CO_2. Exemplo: *Lactobacillus buchneri.*

Bactérias Homofermentativas: Bactérias ácido-láticas que produzem, quase exclusivamente, ácido lático como produto final da fermentação, promovendo uma queda de pH mais eficiente.

Bactérias Proteolíticas: Microrganismos que degradam proteínas em peptídeos e aminoácidos. No silo, a proteólise excessiva é indesejável, mas no rúmen é essencial para a nutrição microbiana.

Carboidratos Não Fibrosos (CNF): Fração dos carboidratos de rápida degradação, como açúcares e amido, que não fazem parte da parede celular.

Carboidratos Solúveis: Açúcares de fácil fermentação, que servem como substrato imediato para as bactérias ácido-láticas no início do processo de ensilagem.

Deterioração Aeróbia: Processo de degradação da silagem que ocorre quando o material é exposto ao oxigênio, permitindo o crescimento de fungos e leveduras que consomem nutrientes e geram calor.

Diâmetro Geométrico Médio (DGM): Medida estatística utilizada para caracterizar o tamanho médio das partículas após a moagem. É crucial para equilibrar a digestibilidade do amido e a saúde ruminal.

Etanol: Álcool produzido, principalmente, por leveduras durante a fermentação. Concentrações elevadas indicam perdas de energia e maior suscetibilidade à deterioração aeróbia.

Extrato Etéreo (EE): Fração do alimento que compreende os lipídeos (gorduras e óleos) solúveis em éter. É uma fonte densa de energia.

Fibra em Detergente Ácido (FDA): Fração da parede celular que contém celulose e lignina. Valores elevados de FDA estão associados a uma menor digestibilidade do alimento.

Lactose: Açúcar presente no leite e no soro de leite. Serve como excelente substrato para a produção de ácido lático por bactérias homofermentativas na silagem reidratada.

Lignina: Polímero estrutural complexo e indigestível da parede celular vegetal. Atua como barreira à digestão de outros carboidratos e proteínas.

Nutrientes Digestíveis Totais (NDT): Índice que expressa o valor energético total de um alimento, somando as frações digestíveis de proteínas, carboidratos e gorduras.

Proteólise: Processo de quebra das proteínas em compostos mais simples. Na ensilagem de grãos reidratados, a proteólise da matriz proteica é desejável para expor o amido, mas deve ser controlada para evitar perdas de nitrogênio.

Recuperação de Matéria Seca (RMS): Percentual de matéria seca que permanece no silo após o período de armazenamento, descontando as perdas fermentativas. É um indicador de eficiência do processo.

Referências

AYANDIRAN, S. K. *et al.* Effect of molasses on nutritive value and in-vitro digestibility of elephant grass silage. *Agricultura Tropica et Subtropica*, Praga, República Tcheca, v. 57, p. 72–76, 2024. DOI: 10.2478/ats-2024-0007.

ANJOS, A. N. A. dos *et al.* Protein and carbohydrate profiles of "Massai" grass silage with pelleted citrus pulp and microbial inoculant. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 57, e02732, 2022. DOI: https://doi.org/10.1590/s1678-3921.pab2022.v57.02732.

ANNOR, G. A. *et al.* Why do millets have slower starch and protein digestibility than other cereals? *Trends in Food Science & Technology*, v. 66, p. 73-83, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.05.012.

ANTUNES, A. B. *et al.* Effects of different methods and additives on the quality of ensilage from rehydrated maize grain with industrial tomato waste. *Journal of Animal and Feed Sciences*, v. 34, n. 2, p. 259-271, 2025. DOI: https://doi.org/10.22358/jafs/195583/2025.

ANVISA – AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução RDC nº 271, de 22 de setembro de 2005. Dispõe sobre o Regulamento Técnico para Açúcares e Produtos para Adoçar. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 22 set. 2005.

ASHBELL, G. *et al.* The effects of temperature on the aerobic stability of wheat and corn silages. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*, Oxford, v. 28, n. 5, p. 261-266, 2002. DOI: https://doi.org/10.1038/sj/jim/7000237.

BERCHIELLI, T. T.; PIRES, A. V.; OLIVEIRA, S. G. de (org.). *Nutrição de ruminantes*. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2011. 616 p. ISBN 978-85-7805-068-9.

BIBLIOTECA AGPTEA. *Princípios da produção e manejo de silagens*. [S. l.]: Associação Gaúcha de Professores Técnicos de Ensino Agrícola –

AGPTEA, [20--]. Disponível em: https://www.bibliotecaagptea.org.br/zootecnia/forragens/artigos/PRINCIPIOS%20DA%20PRODUCAO%20E%20MANEJO%20DE%20SILAGENS.pdf. Acesso em: 26 out. 2025.

BORREANI, G., *et al.* Silage review: Factors affecting dry matter and quality losses in silages. *Journal of Dairy Science*, Champaign, v. 101, n. 5, p. 3952–3979, 2018. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.2017-13837.

BORGES, C. K. *et al.* Seasonal variation of surface radiation and energy balances over two contrasting areas of the seasonally dry tropical forest (Caatinga) in the Brazilian semi-arid. *Environmental Monitoring and Assessment*, Dordrecht, v. 192, n. 8, p. 524, 2020. DOI: https://doi.org/10.1007/s10661-020-08484-y.

CARVALHO, B. F. *et al.* Fermentation profile and identification of lactic acid bacteria and yeasts of rehydrated corn kernel silage. *Journal of Applied Microbiology*, Oxford, v. 122, n. 3, p. 589-600, 2017. DOI: https://doi.org/10.1111/jam.13371.

CARVALHO-ESTRADA, P.de A., *et al.* Effects of hybrid, kernel maturity, and storage period on the bacterial community in high-moisture and rehydrated corn grain silages. *Systematic and Applied Microbiology*, Jena, v. 43, n. 5, Ed. 126131, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.syapm.2020.126131.

COELHO, M. C. *et al.* Integral valorisation of tomato by-products towards bioactive compounds recovery: human health benefits. *Food Chemistry*, Oxford, v. 410, 135439, p. 1-15, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.135319.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de grãos – Safra 2022/2023. Brasília: CONAB, 2022. Disponível em: https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos. Acesso em: 26 out. 2025.

CORREA, C. E. S. *et al.* Relationship between in situ and ruminal in vivo starch degradability. *Journal of Dairy Science*, Champaign, v. 85, n. 11, p. 3008–3012, 2002. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(02)74386-5Link externo.

COSTA, R. R. *et al.* Vantagens no uso de aditivos em silagem de milho. *Revista Craibeiras de Agroecologia*, Maceió, v. 1, n. 1, p. 1-6, 2017. Disponível em: https://ufal.emnuvens.com.br/era/article/view/3717. Acesso em: 26 out. 2025.

CRUZ, F. N. F. da *et al.* Fermentative losses, chemical composition and in vitro digestibility of corn grain silage rehydrated with water or acid whey combined with bacterial–enzymatic inoculant. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 42, n. 4, p. 1629-1644, 2021. DOI: https://doi.org/10.5433/1679-0359.2021v42n6p3497.

DELGADO, V. A. *Actividad antimicrobiana de las bacterias ácido-lácticas en los alimentos*. 1975. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) – Universidad de La Habana, Havana, 1975.

DENUCCI, B. L. *Resíduo industrial do tomate em substituição à silagem de sorgo no confinamento de bovinos nelore*. 2010. 74 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba-MG, 2010.

DRAGONE, G. *et al.* Characterisation of volatile compounds in an alcoholic beverage produced by whey fermentation. *Food Chemistry*, Oxford, v. 113, n. 4, p. 929-935, 2009. DOI: https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2008.07.005.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo. *A cultura do sorgo*. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 1988. 80 p. (Circular Técnica, n. 1).

ESMAIL, S. H. M. *Nutritional value of tomato waste for poultry*. 1999. Tese (Doutorado em Ciências Avícolas) – Department of Poultry Science, University of Alberta, Edmonton, 1999.

FERNANDES, L. F. O. *Características fermentativas e nutricionais das silagens de grãos de sorgo em função da reidratação e do uso de inoculante*. 2020. 49 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual de Montes Claros, Montes Claros, 2020.

FERRARETTO, L. F.; CRUMP, P. M.; SHAVER, R. D. Effect of cereal grain type and corn grain harvesting and processing methods

on intake, digestion, and milk production by dairy cows through a meta-analysis. *Journal of Dairy Science*, Champaign, v. 96, n. 1, p. 533–550, 2013. DOI: 10.3168/jds.2012-5932.

GAJO, F. F. S. *et al.* Diagnóstico da destinação do soro de leite na mesorregião do Campo das Vertentes – Minas Gerais. *Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes*, Juiz de Fora, v. 71, n. 1, p. 26-37, 2016. DOI: https://doi.org/10.14295/2238-6416.v70i1.501.

GARCÍA, U. A. G., *et al.* A comparison of processed sorghum grain using different digestion techniques. *Journal of Applied Animal Research*, Abingdon, v. 46, p. 1–9, 2018. DOI: http://dx.doi.org/10.1080/09712119.2016.1250642.

GOMIDE, D. R. *et al.* Effect of particle size of silage of flint corn grain on dairy cows fed tropical pasture: performance, intake, ruminal fermentation, and digestibility. *Animals*, *Basel*, v. 13, n. 12, art. 1932, p. 1–17. DOI: https://doi.org/10.3390/ani13121932.

GUIMARÃES, T.P., *et al.* Produção e utilização de silagens de grãos úmidos. *PUBVET*, Londrina, v. 7, n. 1, Ed. 224, art. 1486, 2013. DOI: https://doi.org/10.22256/pubvet.v17n1.art1486.

HASSAN, Z. M.; SEBOLA, N. A.; MABELEBELE, M. *The nutritional use of millet grain for food and feed: a review*. Agriculture & Food Security, London, v. 10, art. 16, 2021. DOI: https://doi.org/10.1186/s40066-020-00282-6.

HEALY, B. J. *et al.* Optimum particle size of corn and hard and soft sorghum for nursery pigs. *Journal of Animal Science*, Oxford, v. 72, n. 9, p. 2227–2236, 1994. DOI: 10.2527/1994.7292227x.

HOFFMAN, P. C. *et al.* Influence of ensiling time and inoculation on alteration of the starch–protein matrix in high-moisture corn. *Journal of Dairy Science*, Champaign, v. 94, n. 5, p. 2465–2470, 2011. DOI: 10.3168/jds.2010-3562.

HOLMES, B. J.; MUCK, R. E. *Silage fermentation and preservation.* Madison: University of Wisconsin, 2020. Disponível em: https://corn.agronomy.wisc.edu/Silage/S005.aspx. Acesso em: 26 out. 2025.

HUBBARD, J. E.; HALL, H. H.; EARLE, F. R. Composition of the component parts of the sorghum kernel. *Cereal Chemistry*, St. Paul, v. 27, n. 5, p. 415–420, 1950.

JAMEHSHOORAN, E. G. *et al. Chemical composition, aerobic stability and fermentation pattern of tomato pomace and pumpkin waste silage using fibrolytic enzymes and lactic acid bacteria. International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, *Cham*, v. 11, n. 1, p. 47–59, 2022. DOI: https://doi.org/10.30486/ijrowa.2021.1923435.1203.

JESUS, D. L. S. *Perfil fermentativo e valor nutricional de silagens de grãos de milheto reidratado com soro de leite e/ou melaço.* 2020. 39 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, 2020.

JESUS, D. L. S. *et al.* Fermentation profile and nutritional value of millet grain silages rehydrated with whey and/or molasses. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 43, n. 6, p. 2595–2606, nov./dez. 2022. DOI: https://doi.org/10.5433/1679-0359.2022v43n6p2595.

KUNG JUNIOR, L. Aerobic stability of silage. *In: California Alfalfa & Forage Symposium and Corn/Cereal Silage Conference*, 2010, Visalia, California. Proceedings [...]. Davis: University of California Cooperative Extension, 2010. p. 1–14.

KUNG JUNIOR, L. *et al.* Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. *Journal of Dairy Science*, Champaign, v. 101, n. 5, p. 4020–4033, 2018. DOI: 10.3168/jds.2017-13909.

LAGE, C. F. A. *et al.* Características e processamento do grão de milho e sua utilização no concentrado de bezerros em aleitamento: milho floculado, amido, energia, digestibilidade, rúmen. *Nutritime Revista Eletrônica*, Viçosa, v. 14, n. 5, p. 7026-7031, 2017.

LUCCI, C. de S., *et al.* Processamento de grãos de milho para ruminantes: digestibilidade aparente e "*in situ*". *Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science*, São Paulo, v. 45, n. 1, p. 35-40, 2008. DOI: 10.1590/S1413-95962008000100006.

MANITOBA AGRICULTURE. Corn silage management. Winnipeg: Government of Manitoba, 2020. Disponível em: https://www.gov.mb.ca/agriculture/crops/crop-management/grain-corn/corn-stover-and-silage.html. Acesso em: 26 out. 2025.

MANNING, K. *et al.* Pearl millet (Pennisetum glaucum) domesticated 4500 years ago in the Tilemsi Valley, Mali: new insights on an alternative cereal domestication pathway. *Journal of Archaeological Science*, London, v. 38, n. 2, p. 312–322, 2011. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jas.2010.09.007.

MARTINS, M. R. *Estabilidade e composição bromatológica de silagem de grãos de sorgo em função da reidratação e do uso de inoculante*. 2022. 54 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual de Montes Claros, Montes Claros, 2022.

MATSUOKA, Y. *et al.* A *molecular portrait of maize domestication. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* (PNAS), *Washington*, v. 99, n. 9, p. 6080–6084, 2002. DOI: https://doi.org/10.1073/pnas.052125199.

McALLISTER, T. A.; HRISTOV, A. N.; BEAUCHEMIN, K. A.; RODE, L. M.; CHENG, K. J. Enzymes in ruminant diets. In: BEDFORD, M. R.; PARTRIDGE, G. G. (eds.). *Enzymes in farm nutrition*. Oxon: CAB International, 2001. p. 273–298.

MELLO, A. C. L. Manejo de pastagens e capineiras. *In:* SANTOS, M. V. F. (ed.). *Pastagens tropicais: dos fundamentos ao uso sustentável*. 1. ed. Recife: Editora UFRPE, 2023. cap. 5, p. 131–170.

MONÇÃO, F. P. *et al.* 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*, Viçosa, v. 53, 2024. DOI: https://doi.org/10.37496/rbz5320240122.

MOURÃO, R. C, *et al.* Processamento do milho na alimentação de ruminantes. PUBVET, Londrina, v. 6, n. 5, ed. 192, art. 1292, 2012. DOI: https://doi.org/10.22256/pubvet.v16n5.1292.

MUCK, R. E.; NADEAU, E. M. G. *et al.* Silage review: recent advances and future uses of silage additives. *Journal of Dairy Science*, Champaign, v. 101, n. 5, p. 3980–4000, 2018. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.2017-13839

MUCK, R. E. Silage production. *In:* MOORE, K. J. *et al.* (7 ed.). *Forages: the science of grassland agriculture*. 7. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2020. cap. 42, p. 767–787. DOI: https://doi.org/10.1002/9781119436669.ch42.

NEIVA, J. N. M. *et al.* Características fermentativas das silagens de milho amonizadas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, MG, v. 27, n. 3, p. 474–480, 1998.

NUNES, F. C. *et al.* Uso de milho processado em dietas de ruminantes: revisão. *Research, Society and Development*, *Vargem Grande Paulista*, v. 9, n. 6, e188963674, 16 p., 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i6.3674.

OLIVEIRA, J.S. e. Produção e utilização de silagem de milho e sorgo. Juiz de Fora: EMBRAPA-CNPGL, 1998. 34 p. (Embrapa Gado de Leite. Circular Técnica, 28).

OLIVEIRA, K. A., *et al.* Feeding behavior and metabolic parameters of lambs fed extruded diets in different roughage:concentrate ratios. *Semina: Ciências Agrárias*, 46(2), 443–458, 2025. DOI: https://doi.org/10.5433/1679-0359.2025v46n2p443.

ORSKOV, E. R.; MACLEOD, N. A.; KYLE, D. J. Flow of nitrogen from the rumen and abomasum in cattle and sheep given protein-free nutrients by intragastric infusion. *British Journal of Nutrition*, *Cambridge*, v. 56, p. 241–248, 1986. DOI: https://doi.org/10.1079/BJN19860103.

OWSLEY, D. W.; DA Knabe , TD Tanksley, Jr. Effect of Sorghum Particle Size on Digestibility of Nutrients at the Terminal Ileum and over the Total Digestive Tract of Growing-Finishing Pigs. *Journal of Animal Science*, Oxford, v. 52, n. 3, p. 556–562, 1981. DOI: https://doi.org/10.2527/jas1981.523557x.

PAES, M. C. D. *Aspectos físicos, químicos e tecnológicos do grão de milho.* Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 6 p. (Circular Técnica, 75). ISSN 1679-1150.

PEREIRA, M. L. R. *Degradabilidade ruminal* in vitro *de grão reidratado e ensilado de milho e sorgo com diferentes granulometrias*. 2012. 73 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2012.

PEREIRA, M. N, *et al. Silagem de milho reidratado*. Belo Horizonte: EPAMIG, 2013. 4 p. (Circular Técnica, n. 187). Disponível em: https://livrariaepamig.com.br/wp-content/uploads/2023/03/CT-187.pdf?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 26 out. 2025.

PEREIRA, K. A., *et al.* Utilização de resíduo industrial de tomate (RIT) na alimentação de ruminantes: revisão de literatura. *Nutritime Revista Eletrônica*, *on-line*, Viçosa, v.14, n.2, p.4997-5003, 2017.

PÉRSIA, M. E. *et al.* Nutritional evaluation of dried tomato seeds. *Poultry Science*, Oxford, v. 82, n. 1, p. 141–146, 2003. DOI: https://doi.org/10.1093/ps/82.1.141.

PINTO, A. C. J.; MILLEN, D. D. Nutritional recommendations and management practices adopted by feedlot cattle nutritionists: the 2016 Brazilian survey. *Canadian Journal of Animal Science*, Ottawa, v. 99, n. 2, p. 392-407, 2018. DOI: https://doi.org/10.1139/cjas-2018-0031.

PIRAN FILHO, F. A. *et al.* Effect of processing method of rehydrated flint corn grain silage on finishing performance of crossbred Angus × Nellore bulls. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v. 53, e20230140, 2024. DOI: https://doi.org/10.37496/rbz5320230140.

QUEIROZ, M. A. A. *et al.* Características fermentativas e bromatológicas de silagens de cana-de-açúcar com taboa. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 45, n. 1, p. 136–141, 2015. DOI: https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20140164.

REZENDE, A. V. *et al.* Rehydration of corn grain with acid whey improves the silage quality. *Animal Feed Science and Technology*, Amsterdam, v. 197, p. 213–221, 2014. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.07.009.

SANTOS, W. P. *et al.* The effect of sodium benzoate on the nutritive value of rehydrated sorghum grain silage for dairy cows. *Animal Feed*

Science and Technology, *Amsterdam*, v. 256, art. 114267, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.114267.

SCHMIDT, P. *et al.* Aditivos químicos e bacterianos na ensilagem de cana-de-açúcar: perdas fermentativas e qualidade da silagem. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v. 38, n. 2, p. 230–239, 2009. DOI: https://doi.org/10.1590/S1516-35982009000200004.

SILVA, J. H. V. *et al.* Composição físico-química e valores energéticos dos resíduos de goiaba e tomate para frangos de corte de crescimento lento. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 38, n. 6, p. 1051–1058, 2009. DOI: https://doi.org/10.1590/S1516-35982009000600012.

SILVA, D. L. P. *Silagem de grão de milho reidratado com diferentes proporções de resíduo industrial de tomate.* 2022. 58 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual de Montes Claros, Montes Claros, 2022.

SILVA, N. C. *et al.* Tomato residue silage as a sustainable feed for lambs: nutritional value and performance. *Sustainability*, Basel, v. 16, n. 21, art. 9453, 2024. DOI: https://doi.org/10.3390/su17219453.

SILVA, A. F. *et al.* Nutritional value, fermentation characteristics and aerobic stability of maize grain silage rehydrated with increasing levels of wet tomato byproduct. *Journal of Animal and Feed Sciences*, Jabłonna, v. 34, n. 1, p. 121–130, 2025. DOI: https://doi.org/10.22358/jafs/192509/2024.

SILVA, R. B. de J. da; SOUZA, C. S. de; MENEGUELLI, M. Uso de milho reidratado na alimentação de bovinos confinados. *Research, Society and Development*, Vargem Grande Paulista, v. 14, n. 4, e6514448674, 2025. DOI: https://doi.org/10.33448/rsd-v14i4.48674.

TANWAR, R. *et al.* Nutritional, phytochemical and functional potential of sorghum: A review. *Food Chemistry Advances*, Amsterdam, v. 3, art. 100501, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100501.

TRES, T. T. *et al.* Okara or soybean grain added to rehydrated corn grain silage for cattle: digestibility, degradability and ruminal parameters. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, Maringá, v. 42, e48586, 2020. DOI: https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v42i1.48586.

TSATSARONIS, G. C.; BOSKOU, D. G. Amino acid and mineral salt content of tomato seed and skin waste. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, London, v. 26, n. 4, p. 421–423, 1975. DOI: https://doi.org/10.1002/jsfa.2740260406.

VALADARES FILHO, S. C. *et al.* BR-CORTE: Exigências Nutricionais de Zebuínos Puros e Cruzados. 4. ed. Visconde de Rio Branco: Suprema, 2023. DOI: http://dx.doi.org/10.26626/978-85-8179-192-0.2023.B001.

YU, A. O.; LEVEAU, J. H. J.; MARCO, M. L. Abundance, diversity and plant-specific adaptations of plant-associated lactic acid bacteria. *Environmental Microbiology Reports*, Reino Unido, v. 12, n. 1, p. 16–29, 2019. DOI: https://doi.org/10.1111/1758-2229.12794

ZANIN, E. *et al.* Performance and feed preference of weaned piglets fed with corn grain silage subjected to different rehydration sources. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, Belo Horizonte, v. 75, n. 3, p. 485–499, 2023. DOI: https://doi.org/10.1590/1678-4162-12812.

ZOPOLLATTO, M. *et al.* Aditivos microbiológicos em silagens no Brasil: revisão dos aspectos da ensilagem e do desempenho de animais. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v. 38, p. 170–189, 2009. Edição especial. DOI: https://doi.org/10.1590/S1516-35982009001300018.

ZOPOLLATTO, M. *Conservação de forragens*. Curitiba: SENAR-PR, 2020. 108 p. ISBN 978-65-88733-10-3. Disponível em: https://www.sistemafaep.org.br/wp-content/uploads/2021/06/PR.0349-Conservacao-de-forragens_web.pdf. Acesso em: 24 de out. 2025.

Sobre os autores



Maria Catiane Araújo Silva Veloso

Graduada em Zootecnia pela Universidade Estadual de Montes Claros (2016) e mestre em Zootecnia pela Universidade Estadual de Montes Claros (2019). Atualmente, é discente de doutorado do Programa de Pós-Graduação associado em Zootecnia da UFVJM e da Unimontes (PPGAZ).



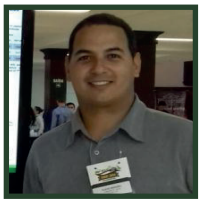
Pedro Henrique Ferreira da Silva

Pós-doutorado pelo Programa de Pós-graduação em Zootecnia da Universidade Estadual de Montes Claros (Unimontes), doutor em zootecnia pelo Programa de Pós-graduação em Zootecnia da Universidade Federal Rural de Pernambuco, com ênfase na área de forragicultura e pastagens, mestre em zootecnia pelo programa de Pós-graduação em Zootecnia (PPGZ) da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) e zootecnista formado pela UFRRJ. Atuou como pesquisador PCI no Instituto Nacional do Semiárido (INSA/MCTI), na área de produção e conservação de forragens nativas e adaptadas ao semiárido brasileiro (2022-2024). Possui experiência em análise de dados (SAS *OnDemand for Academics*) e análises químico-bromatológicas.



João Paulo Sampaio Rigueira

Graduado em zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa (2005) e mestre em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa (2007). Possui doutorado sanduíche pela *University of Delaware* (2010) e Universidade Federal de Viçosa (2011). Atualmente é professor do departamento de Ciências Agrárias da Unimontes e membro permanente do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia (PPGZ) e do Programa de Pós Graduação associado em Zootecnia (PPGAZ).



Flávio Pinto Monção

Graduado em zootecnia pela Universidade Federal da Grande Dourados (2011), mestre em zootecnia pela Universidade Estadual de Montes Claros (2013), doutor em zootecnia pela Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (2017) e pós-doutorado pela Capes e CNPq. Foi coordenador adjunto do programa de pós-graduação em zootecnia da Unimontes (2023-2025). Atualmente é professor do departamento de Ciências Agrárias da Unimontes e membro permanente do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia (PPGZ) e do Programa de Pós Graduação associado em Zootecnia (PPGAZ).



Fredson Vieira e Silva

Graduado em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa (2004), mestre em zootecnia pela Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (2006) e doutor em zootecnia pela Universidade Federal de Minas Gerais (2014). É Professor de graduação e pós-graduação em zootecnia da Universidade Estadual de Montes Claros (Unimontes), com atuação em produção animal, pré-abate, qualidade de carcaças e carnes, com foco na eficiência produtiva e na sustentabilidade dos sistemas pecuários. Atualmente, é coordenador adjunto do Programa de Pós-graduação Associado em Zootecnia da UFVJM e Unimontes e professor do curso de mestrado em produção animal da Universidade Federal de Minas Gerais.



Vicente Ribeiro Rocha Júnior

Graduado em Medicina Veterinária pela Universidade Federal de Minas Gerais (1996), mestre em Zootecnia pela Universidade Federal de Minas Gerais (1999) e doutor em zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa (2002). Atualmente é professor do departamento de Ciências Agrárias da Unimontes, membro permanente do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia (PPGZ) e do Programa de Pós Graduação associado em Zootecnia (PPGAZ). Tem experiência na área de Zootecnia, com ênfase em avaliação de alimentos e nutrição de animais ruminantes.



Luiz Felipe Dias Nogueira

Graduado em Zootecnia pela Universidade Estadual de Montes Claros - Campus de Janaúba (Unimontes), possui curso técnico-profissionalizante em Técnico em Florestas pelo ETS/Centro de Educação Profissional e Tecnológica da Unimontes (2019). Atualmente é discente de mestrado do Programa de Pós Graduação em Zootecnia da Unimontes (PPGZ).



Isadora Vieira Santos Araújo

Graduada em Zootecnia pela Universidade Estadual de Montes Claros (2023). Mestre em Zootecnia pelo Programa de Pós-graduação em Zootecnia da Universidade Estadual de Montes Claros e, atualmente, é discente de Doutorado do Programa de Pós-Graduação associado em Zootecnia da UFVJM e da Unimontes (PPGAZ).



Maria Eduarda Bessa Bahia

Graduada em Zootecnia pela Universidade Estadual de Montes Claros (2024) e pelo Centro de Educação e Cultura (2018). Tem experiência na área de Zootecnia e, atualmente, é discente de mestrado do Programa de Pós Graduação em Zootecnia da Unimontes (PPGZ).

A pecuária em regiões semiáridas enfrenta limitações climáticas que reduzem a disponibilidade e qualidade das forragens. Nesse contexto, a silagem de grãos reidratados surge como alternativa estratégica, baseada no ajuste da umidade dos grãos secos para 30–35% e posterior ensilagem anaeróbica, promovendo maior digestibilidade do amido. Milho, sorgo e milheto são os principais grãos utilizados. A técnica pode ser potencializada por aditivos como soro de leite, resíduo de tomate, melaço e inoculantes microbianos, que melhoram a fermentação e a estabilidade da silagem. Além de aumentar o valor nutricional, reduz perdas, otimiza custos e fortalece a sustentabilidade produtiva no semiárido.

EDITORA
Unimontes