



Programa de Pós-Graduação em Zootecnia

MÉTODOS E ADITIVOS NA ENSILAGEM DE MILHO GRÃO REIDRATADO COM RESÍDUO INDUSTRIAL DE TOMATE

HUGO RICARDO CAMPOS MENDES

2026

HUGO RICARDO CAMPOS MENDES

**MÉTODOS E ADITIVOS NA ENSILAGEM DE MILHO GRÃO REIDRATADO COM RESÍDUO
INDUSTRIAL DE TOMATE**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Montes Claros como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, área de concentração em Zootecnia no Semiárido, para obtenção do título de Mestre.

Orientador

Prof. Dr. Flávio Pinto Monção

Janaúba

2026

FICHA CATALOGRÁFICA

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Mendes, Hugo Ricardo Campos

M538m Métodos e aditivos na ensilagem de milho grão reidratado com resíduo industrial de tomate [manuscrito] / Hugo Ricardo Campos Mendes – 2026.
56 p.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Estadual de Montes Claros – Janaúba, 2026.
Orientador: Prof. D. Sc. Flávio Pinto Monção.

1. Ensilagem. 2. Milho. 3. Melaço. 4. Nutrição de ruminantes. 5. Resíduo industrial. I. Monção, Flávio Pinto. II. Universidade Estadual de Montes Claros. III. Título.

CDD. 636.085

Catálogo: Joyce Aparecida Rodrigues de Castro Bibliotecária CRB6/2445

Montes Claros, 01 de julho de 2026.

Declaração UNIMONTES/PRPG/PPGZ Nº 143366478/2026

DECLARAÇÃO

Declaramos para os devidos fins que no dia **30 de Junho de 2026**, o Senhor **Hugo Ricardo Campos Mendes**, defendeu sua Dissertação de Mestrado, Intitulada “**Métodos e aditivos na ensilagem de milho grão reidratado com resíduo industrial de tomate**” no Programa de Pós-graduação em Zootecnia da Unimontes – Universidade Estadual de Montes Claros, aprovada pela banca examinadora:

Dr. Flávio Pinto Monção/ Presidente/ UNIMONTES

Dr. João Paulo Sampaio Rigueira/ Membro Interno/ UNIMONTES

Dra. Cinara da Cunha Siqueira Carvalho /Membro Interno/ UNIMONTES

Dr. Pedro Henrique Ferreira da Silva /Membro Externo/ Instituto de Zootecnia - Agência Paulista de Tecnologias dos Agronegócios

Considerando o disposto no Artigo 49 da Resolução Nº. 372 – CEPEX/2020 das Normas do Programa, o Mestrando somente poderá usufruir de todos os direitos e prerrogativas que o título de Mestre em Zootecnia lhe confere após a apresentação da Dissertação, devidamente aprovada em sua redação definitiva, à Secretaria do Programa, **no prazo final de 90 dias**, findo o qual esta declaração perde a validade.

O Mestrando foi orientado pelo **Prof. Dr. Flávio Pinto Monção**.

O curso é reconhecido e Homologado pelo CNE (Portaria MEC Nº 1.077- DOU de 13/09/2012 - Parecer CES/CNE 277/2007, 17/01/2008) Renovação do Reconhecimento: (RESOLUÇÃO SEDECTS Nº 15, de 14 DE MARÇO 2019, D.O.MG de 26/03/2019).



Documento assinado eletronicamente por **Flávio Pinto Monção, Professor(a)**, em 01/07/2026, às 04:56, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 47.222, de 26 de julho de 2017](#).



Documento assinado eletronicamente por **PEDRO HENRIQUE FERREIRA DA SILVA**, Usuário **Externo**, em 01/07/2026, às 16:55, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 47.222, de 26 de julho de 2017](#).



Documento assinado eletronicamente por **João Paulo Sampaio Rigueira**, Professor(a), em 03/07/2026, às 09:38, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 47.222, de 26 de julho de 2017](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site

[http://sei.mg.gov.br/sei/controlador_externo.php?](http://sei.mg.gov.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0)

[acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0](http://sei.mg.gov.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **143366478** e o código CRC **CD271CC3**.

A minha amada MãE dedico...

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, por me conceder saúde, força, sabedoria e perseverança para superar todos os desafios encontrados ao longo desta caminhada. Sem Sua presença e direção, esta conquista não seria possível.

Aos meus pais, Rosane Ferreira Campos e Delves Mendes Santos, expresso minha eterna gratidão pelo amor, apoio incondicional, ensinamentos e incentivo em todos os momentos da minha vida. Vocês foram fundamentais para que eu chegasse até aqui.

Aos meus irmãos, Anne Caroline e Demerson, agradeço o companheirismo, amizade, incentivo e por estarem sempre ao meu lado, compartilhando alegrias e dificuldades durante essa trajetória.

Ao meu professor e orientador, Prof. Dr. Flávio Monção, pela orientação, confiança, paciência, dedicação e pelos valiosos ensinamentos transmitidos ao longo do desenvolvimento deste trabalho. Sua contribuição foi essencial para minha formação acadêmica e profissional.

Aos amigos e colegas do mestrado, agradeço pela convivência, troca de conhecimentos, apoio e amizade construídos durante essa jornada. Cada momento compartilhado contribuiu de forma significativa para meu crescimento pessoal e acadêmico.

À Universidade Estadual de Montes Claros – UNIMONTES, pela oportunidade de realização do Mestrado em Zootecnia, pela estrutura oferecida e por contribuir diretamente para minha formação científica e profissional.

Agradeço a FAPEMIG pelo financiamento da pesquisa (APQ - APQ-05029-24; APQ-03569-22) e pela bolsa concedida.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, meus mais sinceros agradecimentos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Valores médios da temperatura durante a estabilidade aeróbia (168 horas) de diferentes silagens milho reidratado. RIT – Resíduo Industrial de Tomate.....	36
Figura 2 - Valores médios da temperatura de diferentes silagens milho reidratado durante a estabilidade por aeróbia 168 horas.	37
Figura 3 - Cinética ruminal da matéria seca das silagens de milho grão reidratado com água ou resíduo industrial de tomate associado com diferentes aditivos.	43
Figura 4 - Cinética ruminal da fibra em detergente neutro das silagens de milho grão reidratado com água ou resíduo industrial de tomate associado com diferentes aditivos.	44
Figura 5 - Representação gráfica do primeiro (CP1) e do segundo (CP2) componentes principais das variáveis avaliadas em silagens de milho grão reidratado com água ou resíduo industrial de tomate, associadas a diferentes aditivos.	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição bromatológica da casca, semente e resíduo industrial do tomate em porcentagem da matéria seca.....	18
Tabela 2 - Composição química dos ingredientes utilizados na produção de silagem.....	32
Tabela 3 - Perfil fermentativo e perdas de matéria seca de silagens de milho grãos reidratado com água ou resíduo industrial de tomate associado com diferentes aditivos	38
Tabela 4 - Composição química de silagens de milho grãos reidratado com água ou resíduo industrial de tomate associado com diferentes aditivos	41

SUMÁRIO

NORMAS DA REVISTA CIENTÍFICA	10
RESUMO GERAL	11
GENERAL ABSTRACT	12
1 INTRODUÇÃO GERAL	14
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	16
3 REFERÊNCIAS	20
Capítulo 1 - Métodos e aditivos na ensilagem de milho grão reidratado com resíduo industrial de tomate	25
INTRODUÇÃO	27
Material e Métodos.....	28
Declaração de ética	28
Local do experimento.....	28
Tratamentos e delineamento experimental	28
Culturas e obtenção dos tratamentos	28
Processo de ensilagem	29
Estabilidade aeróbia	30
Perdas fermentativas	31
Avaliação do nitrogênio amoniacal, ácidos orgânicos e pH.....	31
Composição química e cinética ruminal.....	32
Análises multivariadas.....	34
Análises estatísticas.....	34
Resultados	36
Estabilidade aeróbia	36
Perfil fermentativo e Perdas de matéria seca.....	37
Composição química	39

Cinética ruminal	42
Componentes Principais.....	44
Discussão	46
Conclusões.....	50
Agradecimentos	51
Declaração de disponibilidade de dados.....	51
Conflitos de interesse.....	51
Declaração de financiamento	51
Referências.....	52
Considerações Finais	55

NORMAS DA REVISTA CIENTÍFICA

Esta dissertação segue as premissas básicas das normas da Journal of Animal and Feed Science, exceto o idioma. Link: <https://www.jafs.com.pl/Instructions-for-Authors,413.html>.

RESUMO GERAL

A silagem de milho grão reidratado constitui uma importante alternativa nutricional para sistemas intensivos de produção animal, uma vez que o processo de reidratação e ensilagem favorece alterações na matriz proteica do grão, aumentando a disponibilidade e a digestibilidade do amido. Paralelamente, o aproveitamento de coprodutos agroindustriais tem se destacado como estratégia sustentável para redução de custos de produção e mitigação dos impactos ambientais. Nesse contexto, objetivou-se avaliar os efeitos de diferentes métodos de reidratação e aditivos sobre a qualidade fermentativa, composição químico-bromatológica, digestibilidade e degradabilidade ruminal da silagem de milho grão reidratado utilizando resíduo industrial de tomate (RIT). O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com cinco tratamentos e sete repetições: silagem de milho reidratado com água sem aditivos; silagem de milho reidratado com RIT sem aditivos; silagem de milho reidratado com RIT associado a inoculante bacteriano-enzimático; silagem de milho reidratado com RIT acrescido de 2% de melaço em pó; e silagem de milho reidratado com RIT associado a inoculante bacteriano-enzimático e 2% de melaço em pó, com base na matéria natural. A massa ensilada foi armazenada em silos de PVC e avaliada após 72 dias de fermentação. As silagens produzidas com RIT apresentaram maiores valores de pH ($P < 0,01$), com média de 4,25, enquanto as maiores perdas de nitrogênio amoniacal foram observadas nas silagens reidratadas com água. Não foram verificadas perdas totais de matéria seca durante a fermentação nas silagens reidratadas com RIT, evidenciando o potencial desse coproduto como agente de reidratação. A utilização de aditivos não influenciou as perdas totais de matéria seca e as perdas por gases; entretanto, as silagens contendo RIT associadas ao inoculante bacteriano-enzimático apresentaram menores perdas por efluentes e maior recuperação de matéria seca, demonstrando maior eficiência no processo fermentativo. Os resultados indicam que o resíduo industrial de tomate pode ser utilizado de forma eficiente na reidratação do milho grão para ensilagem, contribuindo para a conservação da matéria seca e do nitrogênio, especialmente quando associado ao uso de inoculante bacteriano-enzimático.

Palavras-chave: Coprodutos agroindustriais, fermentação, inoculante bacteriano-enzimático, melaço, nutrição de ruminantes.

GENERAL ABSTRACT

Rehydrated corn grain silage is an important nutritional alternative for intensive animal production systems, as the rehydration and ensiling processes promote changes in the grain protein matrix, increasing starch availability and digestibility. At the same time, the use of agro-industrial by-products has emerged as a sustainable strategy to reduce production costs and mitigate environmental impacts. In this context, the objective of this study was to evaluate the effects of different rehydration methods and additives on the fermentative quality, chemical composition, digestibility, and ruminal degradability of rehydrated corn grain silage using industrial tomato residue (ITR). The experiment was conducted in a completely randomized design with five treatments and seven replicates: rehydrated corn grain silage with water and no additives; rehydrated corn grain silage with ITR and no additives; rehydrated corn grain silage with ITR plus a bacterial-enzymatic inoculant; rehydrated corn grain silage with ITR plus 2% powdered molasses; and rehydrated corn grain silage with ITR plus a bacterial-enzymatic inoculant and 2% powdered molasses, on a fresh matter basis. The ensiled material was stored in PVC silos and evaluated after 72 days of fermentation. Silages produced with ITR showed higher pH values ($P < 0.01$), averaging 4.25, whereas the highest ammonia nitrogen losses were observed in silages rehydrated with water. The total dry matter losses were not detected during fermentation in silages rehydrated with ITR, highlighting the potential of this by-product as a rehydration agent. The use of additives did not affect total dry matter losses or gas losses; however, silages containing ITR associated with the bacterial-enzymatic inoculant showed lower effluent losses and greater dry matter recovery, indicating higher efficiency of the fermentation process. The results indicate that industrial tomato residue can be efficiently used for rehydrating corn grain intended for ensiling, contributing to the preservation of dry matter and nitrogen, especially when associated with the use of a bacterial-enzymatic inoculant.

Keywords: Agro-industrial by-products, fermentation, bacterial-enzymatic inoculant, molasses, ruminant nutrition.

1 INTRODUÇÃO GERAL

A utilização de silagem de milho grão reidratado tem se consolidado como uma importante estratégia nutricional para sistemas intensivos de produção animal, principalmente em regiões tropicais. O processo de reidratação e ensilagem favorece alterações na matriz proteica do grão, promovendo maior exposição dos grânulos de amido à ação microbiana e, conseqüentemente, aumentando sua degradabilidade ruminal e digestibilidade (Oliveira *et al.*, 2023; Diógenes *et al.*, 2023). Além disso, o armazenamento anaeróbio do milho reidratado reduz perdas durante o armazenamento e pode melhorar a eficiência alimentar dos ruminantes. Estudos recentes demonstram que o tempo de armazenamento, o teor de umidade e a utilização de aditivos influenciam diretamente o perfil fermentativo e o valor nutritivo da silagem (Oliveira *et al.*, 2023).

Paralelamente, a crescente busca por sistemas agropecuários mais sustentáveis tem incentivado o aproveitamento de resíduos agroindustriais na alimentação animal. O uso desses coprodutos reduz custos de produção, minimiza impactos ambientais e favorece a economia circular dentro das cadeias produtivas (Menezes *et al.*, 2022). Nesse contexto, o resíduo industrial de tomate apresenta elevado potencial de utilização devido à sua disponibilidade, alta umidade e composição rica em fibra, açúcares residuais, lipídios e compostos antioxidantes. Recentemente, Silva *et al.* (2024) observaram que a inclusão de subproduto úmido de tomate na reidratação de silagem de milho grão promove alterações positivas nas características fermentativas e na estabilidade aeróbia da silagem.

A eficiência da fermentação em silagens de milho grão reidratado depende da rápida redução do pH e da predominância de microrganismos desejáveis, principalmente bactérias ácido-láticas. Dessa forma, a utilização de aditivos tem sido amplamente estudada como estratégia para melhorar a conservação da massa ensilada, reduzir perdas fermentativas e aumentar a estabilidade aeróbia. Segundo Diógenes *et al.* (2023), inoculantes microbianos podem favorecer a produção de ácidos orgânicos, melhorar o aproveitamento do nitrogênio e reduzir perdas de matéria seca em silagens de milho reidratado. Resultados semelhantes foram reportados por Nunes *et al.* (2024), que verificaram melhor acidificação e menor deterioração em silagens inoculadas com *Lentilactobacillus hilgardii* e *Lentilactobacillus buchneri*.

Além dos inoculantes bacterianos, diferentes aditivos químicos e enzimáticos vêm sendo utilizados para potencializar a fermentação e aumentar o valor nutritivo das silagens. Roseira *et al.* (2023) demonstrara que a utilização de protease exógena em silagens de milho e sorgo reidratados promoveu alterações na fermentação e aumentou a disponibilidade nutricional dos grãos. Da mesma forma, aditivos à base de ácido propiônico têm apresentado potencial em melhorar a estabilidade aeróbia e reduzir deterioração pós-abertura das silagens (Oliveira *et al.*, 2023). O uso de subprodutos úmidos como agentes de reidratação também tem despertado interesse científico. Menezes *et al.* (2022) verificaram que a inclusão de polpa cítrica úmida durante a reidratação do milho promoveu melhorias na fermentação, estabilidade aeróbia e perfil microbiológico da silagem. Resultados semelhantes foram relatados por Lelis *et al.* (2024), avaliando resíduo úmido de cervejaria associado a inoculantes microbianos. Além disso, o uso de fontes alternativas de umidade, como mucilagem de palma forrageira, demonstrou potencial em aumentar a degradabilidade ruminal e melhorar a qualidade da silagem de milho grão reidratado (Diógenes *et al.*, 2023). Apesar dos avanços relacionados ao uso de aditivos e coprodutos na ensilagem de milho grão reidratado, ainda são limitadas as informações sobre a utilização do resíduo industrial de tomate como método de reidratação associado ao uso de inoculantes bacteriano-enzimáticos e fontes energéticas fermentáveis, como o melaço. Além disso, poucos estudos avaliaram os impactos dessas estratégias sobre perdas fermentativas, perfil de ácidos orgânicos, composição bromatológica, digestibilidade e degradabilidade ruminal da silagem. Dessa forma, objetivou-se avaliar os efeitos de diferentes métodos de reidratação e aditivos sobre a qualidade fermentativa, composição químico-bromatológica, digestibilidade e degradabilidade ruminal da silagem de milho grão reidratado com resíduo industrial de tomate.

2 REVISÃO DE LITERATURA

MILHO GRÃO E SUA IMPORTÂNCIA

O Brasil é o 3º maior produtor de milho do mundo, ficando atrás apenas da China e dos Estados Unidos. Em 2024 o Brasil produziu o total de 115,9 milhões de toneladas desse grão, produção menor quando comparada ao ano de 2023, porém com perspectiva de aumento para o ano de 2025 (Conab, 2025). Cerca de 70% de todos os grãos de cereais do mundo são direcionados para a produção animal (Oliveira *et al.*, 2014).

A anatomia do milho é dividida em pericarpo, endosperma, gérmen e ponta. O endosperma representa em torno de 83% contendo grânulos de amido, proteínas de reservas do tipo prolaminas, carotenoides, entre outros. O gérmen representa em média 11%, contendo vitaminas, lipídios e minerais. O pericarpo contendo 5% compreendendo a camada externa fornecendo proteção. A ponta, que representa em média 1 a 2% do grão sendo formada por compostos lignocelulósico (Paes, 2006).

O milho apresenta cerca de 9% de proteína bruta, 13% de fibra em detergente neutro (FDN), 66% de amido, 72% de carboidratos não fibrosos (CNF) e 3.936 kcal/kg de energia bruta (Rostagno *et al.*, 2000).

No Brasil existe a predominância da utilização de grãos flint ou duros, como são chamados os milhos de endosperma duro. Porém, os mesmos se mostram grãos de baixa digestibilidade (Caetano *et al.*, 2019). Existe grande quantidade de prolaminas presente no endosperma do milho flint, essas prolaminas que são aderidas aos grânulos de amido são responsáveis por diminuir a digestibilidade do amido (Varela *et al.*, 2023). O amido representa mais da metade da matéria seca do milho, sendo uma fonte de energia de grande relevância na nutrição animal para animais de produção (Kokić, 2022).

O milho é o alimento mais utilizado na nutrição animal e isso se deve as suas características como, por exemplo, alimento energético de alto valor nutricional, boa aceitação pelos animais, disponível em diversas regiões do país, pode ser fornecido de diversas formas, como planta inteira, grãos inteiros e triturados e também em forma de silagem, pois possui boa fermentação em silos sendo a cultura mais utilizada para a produção de silagem no Brasil (Neumann *et al.*, 2024).

SILAGEM DE MILHO REIDRATADO

A técnica da reidratação de grão moídos consiste em adicionar água nesse material até atingir o teor de umidade adequado para a ensilagem (Mombach *et al.*, 2019).

A ensilagem dos grãos de milho reidratados tem como objetivo a degradação da matriz proteica que circunda o amido presente no endosperma do grão, com isso conseguimos aumentar a disponibilidade do amido e melhorar a fermentação do mesmo por microrganismos ruminais (Hoffman *et al.*, 2011).

Uma questão a ser levada em consideração é o tempo mínimo que silagens de grãos reidratados precisam ficar fechadas para que ocorra a proteólise e disponibilidade do amido. Essa maior proteólise tem ocorrido nos primeiros 60 dias após finalizado o processo de ensilagem (Fernandes *et al.*, 2021). É nítido o aumento da utilização dessa ensilagem em substituição ao milho seco que normalmente é utilizado nas dietas dos animais de produção (Jacovaci *et al.*, 2021).

Outra vantagem da utilização da silagem de grãos reidratados é que a mesma se apresenta menos vulnerável ao ataque de pragas e insetos quando comparado com o armazenamento dos grãos propriamente ditos (Ferraretto *et al.*, 2015).

A ensilagem de grãos reidratados exige os mesmos cuidados de qualquer outro tipo de silagem nos quesitos umidade adequada, compactação do material a ser ensilado e vedação para a rápida queda no pH da mesma. O tempo de armazenamento é um ponto importante a ser levado em consideração, visto que diminui as quantidades de prolaminas dos grãos de milho e acelera o desaparecimento do mesmo no rúmen (Hoffman *et al.*, 2011, Ferraretto *et al.*, 2015). Observa-se uma relação direta entre o tempo de armazenamento e o desaparecimento do amido no rúmen (Silva *et al.*, 2019).

Quando é possível armazenar esse material por períodos mais longos, consegue-se melhorar o perfil de fermentação e a estabilidade aeróbica da silagem. O inverso acontece quando o armazenamento é feito em período reduzido, prejudicando assim a qualidade do material ensilado. Porém, pode-se recomendar um período de armazenamento reduzido quando se utiliza menores tamanhos de partículas, melhorando a fermentação e acelerando a utilização do amido no rúmen (Saylor *et al.*, 2021).

RESÍDUO INDUSTRIAL DO TOMATE

O tomate (*Solanum lycopersicum*) se destaca entre as frutas mais consumidas no mundo, sendo importante para a agricultura, indústria de alimento e culinária devido a sua versatilidade de consumo (Rawat *et al.*, 2024). A produção de tomate para processamento industrial ultrapassou o valor de 44 milhões de toneladas produzidas no mundo em 2023, e Brasil se mostra entre os 10 países de maior produção. O líder desse ranking são os estados unidos (WPTC, 2024). Os estados de maior produção no Brasil são Goiás, São Paulo e Minas Gerais (IBGE, 2023).

O Resíduo industrial do tomate (RIT) é o subproduto da indústria após o processamento desse fruto, sendo composto por semente, casca e uma pequena porção de polpa (Mansoori *et al.*, 2008). Esse subproduto, devido seu valor nutricional tem sido utilizado de forma crescente na nutrição animal e principalmente na forma de ensilagem (Mizael *et al.*, 2020).

Tabela 1 - Composição bromatológica da casca, semente e resíduo industrial do tomate em porcentagem da matéria seca

Fração	PB	FDN	FDA	EE	LIGNINA	NIDA
Casca	10,8	62,5	52,4	3,6	20,4	22
Semente	29	60	30	22,4	16,9	18,6
RIT	22	71,7	40	15,5	17,3	18,6

PB= proteína bruta, FDN= fibra em detergente neutro, FDA= fibra em detergente ácido, EE= extrato etéreo, NIDA= nitrogênio insolúvel em detergente ácido.

Fonte: Campos *et al.* (2007).

O coproduto do processamento Industrial do tomate possui alto teor de fibra (>40%) sendo classificado como fonte de fibra não forrageira (FFNF), porém possui alta quantidade de proteína bruta e lipídios que torna sua utilização desejável para ruminantes (Campos *et al.*, 2007).

O processamento desse fruto gera resíduos que podem ocasionar impactos ambientais, gerando uma carga orgânica elevada. Como é um resíduo de significativo valor nutricional, destinar esse produto para a cadeia alimentar é de grande importância para a indústria e para os produtores (Simitzis; Deligeorgis, 2018).

Trabalhos utilizando o RIT na nutrição animal mostram a viabilidade desse subproduto no desempenho dos animais, fazendo com que os mesmos reduzam o consumo de concentrados comerciais sem prejudicar o desempenho e a qualidade da carne desses animais (Valenti *et al.*, 2018).

3 REFERÊNCIAS

- Caetano, M., Goulart, RS., Rizzo, PM., Silva, SL., Drouillard, JS., Leme, PR, Lanna, DPD. 2019. Impact of flint corn processing method and dietary starch concentration on finishing performance of Nellore bulls. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 251, 166-175. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.03.006>.
- Campos, WE., Saturnino, HM., Borges, ALCC., Silva, RR., Sousa, BM., Campos, MM. Rogério, MCP. 2007. Digestibilidade aparente de dietas contendo diferentes proporções de resíduo industrial de tomate. *Cienc. Anim. Bras.*, 8, 479-484. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/vet/article/view/1689>. Acesso em: 7 set. 2026.
- Conab. Companhia Nacional de Abastecimento. Série Histórica dos Grãos. 2025. Disponível em: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/safra-serie-historica-graos.html>. Acesso em: 10 fev. 2025.
- Diógenes, LV., Medeiros, ES., Moura, JFP.; Edvan, RL.; Oliveira, JPF., Silva Filho, EC., Silva, AG., Araujo, MJ., Oliveira, RL., Bezerra, LR. 2023. Cactus pear mucilage processing enhances corn silage's quality, ruminal degradability, goat kids' performance, carcass traits, and dietary economic profitability. *Small Rumin. Res.*, v. 227, p. 107083. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2023.107083>.
- Diógenes, LV., Pereira Filho, JM., Edvan, RL., Oliveira, JPF., Nascimento, RR., Santos, EM., Alencar, EJS., Mazza, PHS., Oliveira, RL., Bezerra, LR. 2023. Effect of different additives on the quality of rehydrated corn grain silage: a systematic review. *Ruminants*, 3, 425-444. <https://doi.org/10.3390/ruminants3040035>.
- Fernandes, J., Silva, EB., Carvalho-Estrada, PA., Daniel, JLP., Nussio, LG. 2021. Influence of hybrid, moisture, and length of storage on the fermentation profile and starch digestibility of corn grain silages. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 271, 114707. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114707>.
- Ferraretto, LF., Fredin, SM., Shaver, RD. 2015. Influence of ensiling, exogenous protease addition, and bacterial inoculation on fermentation profile, nitrogen fractions, and ruminal in vitro starch digestibility in rehydrated and high-moisture corn. *J. Dairy Sci.*, 98, 7318-7327. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9891>.
- Ferraretto, LF., Taysom, K., Taysom, DM., Shaver, RD., Hoffmann, PC. 2014. Relationships between dry matter content, ensiling, ammonia-nitrogen, and ruminal in vitro starch digestibility in high-moisture corn samples. *J. Dairy Sci.*, 97, 3221-3227. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7680>.
- Hoffman, PC., Esser, NM., Shaver, RD., Coblenz, WK., Scott, MP., Bodnar, AL., Schmidtt, RJ., Charley, RC. 2011. Influence of ensiling time and inoculation on alteration of the starch-

protein matrix in high-moisture corn. J. Dairy Sci., 94, 2465-2474. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3562>.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2023. Classificados pelo volume de produção em toneladas. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/tomate/br>. Acesso em: 10 fev. 2025.

Jacovaci, FA., Salvo, PAR., Jobim, CC., Daniel, JLP., 2021. Effect of ensiling on the feeding value of flint corn grain for feedlot beef cattle: A meta-analysis. Rev Bras Zoot., 50, e20200111. <https://doi.org/10.37496/rbz5020200111>.

Kokic, B., Dokic, L., Pezo, L., Jovanovic, R., Spasevski, N., Kojic, J., Hadnadev, M. 2022. Physicochemical changes of heat-treated corn grain used in ruminant nutrition. Animals, 12, 2234. <https://doi.org/10.3390/ani12172234>.

Lelis, ELL., Tavares, VB., Teixeira, RMA., Homem, BGC., Nogueira, CH, Silva, JM. 2024. Rehydrated corn grain silage with wet brewery residue and different inoculants. Boletim de Indústria Animal, 81, e1937. <https://doi.org/10.17523/bia.2024.v81.e1937>.

Mansoori, B., Modirsanei, M., Radfar, M., Kiaei, MM., Farkhoy, M., Honar zad, J. 2008. Digestibility and metabolisable energy values of dried tomato pomace for laying and meat type cockerels. Anim. Feed Sci. Technol., 141, 384-390. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.06.029>.

Menezes, GL., Oliveira, AF., Lana, ÂMQ., *et al.* 2022. Effects of different moist orange pulp inclusions in the corn grain rehydration for silage production on chemical composition, fermentation, aerobic stability, microbiological profile, and losses. Anim Sci J. 93, e13701. <https://doi.org/10.1111/asj.1370>.

Mizael, WCF., Costa, RG., Cruz, GRB., Carvalho, FFR., Ribeiro, NL., Lima, A., Dominguez, R., Lorenzo, J. M. 2020. Effect of the use of tomato pomace on feeding and performance of lactating goats. Animals, 10, 1574. <https://doi.org/10.3390/ani10091574>.

Mombach, MA., Pereira, DH., Pina, DS., Bolson, DC., Pedreira, B. C. 2019. Silage of rehydrated corn grain. Arq. Bras. Med. Vet. Zootec., 71, 959-966. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-9676>.

Neumann, M., Baldissera, E., Lenke, LA., Souza, AM., Oliveira, PEP., Bumbieris Junior, V. H. Nutritional Value Evaluation of Corn Silage from Different Mesoregions of Southern Brazil. Agriculture, 14, 1055, 2024. <https://doi.org/10.3390/agriculture14071055>.

Nunes, FC., Guimarães, KC., Pessoa, FOA., Cunha, FP., Pereira, VCRS., Paim, TP., Fernandes, PB. 2024. Use of bacterial inoculant in rehydrated corn grain silage. J. Appl. Anim. Res., 52. <https://doi.org/10.1080/09712119.2024.2400534>.

Oliveira, KS., Salvati, GGS., Morais, G., *et al.* 2023. Effect of length of storage and chemical additives on the nutritive value and starch degradability of reconstituted corn grain silage. *Agronomy*, 13, 209. <https://doi.org/10.3390/agronomy13010209>.

Oliveira, PM., Zannini, E., Arendt, EK. 2014. Cereal fungal infection, mycotoxins, and lactic acid bacteria mediated bioprotection: From crop farming to cereal products. *Food Microbiology*, 37, 78-95. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2013.06.003>.

Paes, MCD. 2026. Aspectos físicos, químicos e tecnológicos do grão de milho. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, Circular Técnica75, 6 p.

Rawat, A., Upadhyay, M., Singh, O. 2024. Exploring the Pharmacological Potential and Traditional Use of *Solanum lycopersicum* L. (Tomato): A Review. *J. Pharmacogn. Phytochem*, 13, 768-771. <https://doi.org/10.22271/phyto.2024.v13.i2f.14920>.

Roseira, JPS., Pereira, OG., Silveira, TC., Silva, VP., Alves, WS., Agarussi, MCN., Ribeiro, KG., 2023. Effects of exogenous protease addition on fermentation and nutritive value of rehydrated corn and sorghum grains silages. *Sci Rep.* 13, 7302. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-34595-w>.

Rostagno, HS., Albino, LT., Donzele, JL., Gomes, PC., Oliveira, RD., Lopes, DC., Euclides, R. F. 2000. Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais. v. 1. Viçosa: UFV/DZO.

Saylor, BA., Diepersloot, EC., Heinzen Jr., C., Mccary, CL., Ferraretto, LF. 2021. Effect of kernel breakage on the fermentation profile, nitrogen fractions, and in vitro starch digestibility of whole-plant corn silage and ensiled corn grain. *JDS Communications*, 2, 191-195. <https://doi.org/10.3168/jdsc.2021-0093>.

Silva, AF., Rigueira, J., Albuquerque, CJB., Rocha Júnior, VR., Santos, AS., Silva, FV., Silva, MFP., Porto, EMV, Monção, FP., Silva, PHF. 2025. Nutritional value, fermentation characteristics and aerobic stability of maize grain silage rehydrated with increasing levels of wet tomato by product. *J. Anim. Feed Sci.*, 34, 121-130. <https://doi.org/10.22358/jafs/192509/2024>.

Silva, NC., Nascimento, CF., Campos, VMA., Alves, MAP., Resende, FD., Daniel, JLP., Siqueira, GR. 2019. Influence of storage length and inoculation with *Lactobacillus buchneri* on the fermentation, aerobic stability, and ruminal degradability of high-moisture corn and rehydrated corn grain silage. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 251, 124-133. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.03.003>.

Simitzis, P., E.; Deligeorgis, SG. 2018. Agroindustrial by-products and animal products: A great alternative for improving food-quality characteristics and preserving human health. In: *Food quality: balancing health and disease*. Academic Press. 253-290. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811442-1.00008-0>.

Valenti, B., Luciano, G., Pauselli, M., Mattioli, S., Biondi, L., Priolo, A., Natalello, A., Morbidini, L., Lanza, M. 2018. Dried tomato pomace supplementation to reduce lamb concentrate intake:

Effects on growth performance and meat quality. *Meat Science*, 145, 63-70. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.06.009>.

Varela, J., Ferraretto, L.F., Kaeppler, S.M., León, N., 2023. Effects of endosperm type and storage length of whole-plant corn silage on nitrogen fraction, fermentation products, zein profile, and starch digestibility. *J. Dairy Sci.*, 106, 8710-8722. <https://doi.org/10.3168/jds.2023-23382>.

WPTC. World Processing Tomato Council. World production estimate of tomatoes for processing: as of 23 August 2024. [S. l.]: WPTC, 2024. Disponível em: <https://www.wptc.to/wp-content/uploads/2024/08/WPTC-World-Production-estimate-as-of-23-August-2024.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2025.

Métodos e aditivos na ensilagem de milho grão reidratado com resíduo industrial de tomate

Hugo Ricardo Campos Mendes ¹, Flávio Pinto Monção^{1*}

***Corresponding Author:** Flávio Pinto Monção

Tel: +55-38-99983-8240, Fax: +55- 38-3821-2756, E-mail: flavio.moncao@unimontes.br

¹ Department of Animal Science and Technology, State University of Montes Claros, Avenue Reinaldo Viana, 2630, Janaúba, Minas Gerais, Brazil

² Department of Animal Science, Federal University of Viçosa, Av. Peter Henry Rolfs, s/n - Campus Universitário, Viçosa, Minas Gerais, Brazil

ORCID

Flávio Pinto Monção

<https://orcid.org/0000-0002-9821-0107>

CAPÍTULO 1 - MÉTODOS E ADITIVOS NA ENSILAGEM DE MILHO GRÃO REIDRATADO COM RESÍDUO INDUSTRIAL DE TOMATE

RESUMO

No Brasil, o tipo de milho cultivado apresenta endosperma vítreo, o que compromete o aproveitamento potencial dos nutrientes, principalmente o amido, fonte energética para os animais. Para aprimorar sua preservação, pode-se recorrer à reidratação com água. Mas, há lacunas no conhecimento sobre o uso de subprodutos como método de reidratação e se há necessidade de usar aditivos. Diante disso, objetivou-se avaliar diferentes métodos de reidratação (água vs. resíduo industrial de tomate (RIT)) e aditivos para ensilagem do milho grão moído sobre as perdas e perfil fermentativo, composição químico-bromatológica, digestibilidade e degradabilidade ruminal. O experimento foi realizado na Universidade Estadual de Montes Claros – Janaúba. Foram avaliados cinco tratamentos, sendo eles: 1) Silagem de milho reidratado com água sem aditivos; 2) Silagem de milho reidratado com RIT sem aditivos; 3) Silagem de milho reidratado com RIT com inoculante bacteriano-enzimático; 4) Silagem de milho reidratado com RIT com inclusão de 2% de melaço em pó; 5) Silagem de milho reidratado com RIT com inclusão de inoculante bacteriano-enzimático e 2% de melaço em pó, base MN. Utilizou o delineamento experimental inteiramente casualizado com cinco tratamentos e sete repetições. Foram utilizados silos de PVC para armazenar a massa ensilada e após 72 dias foram abertos. Verificou-se maior ($P<0,01$) valor de pH nas silagens de milho reidratado com RIT (média de 4,25). As maiores perdas de nitrogênio amoniacal foram verificadas nas silagens de milho reidratado com água em comparação ao RIT. Entre os aditivos, foi observada menores perdas por efluentes na silagem de milho grão reidratado com RIT associado com inoculante bacteriano-enzimático. As silagens de milho reidratado com RIT associado com inoculante apresentaram maiores concentrações de ácido acético ($P<0,01$) e ácido propiônico ($P<0,01$). Nos tempos 0, 3, 6, 12, 24, 48 e 72 horas não foram verificadas diferenças sobre a degradabilidade ruminal da MS entre as silagens. O resíduo industrial de tomate pode ser utilizado para reidratação do milho grão moído e ensilagem porque não altera as perdas de matéria seca e melhora os teores de compostos nitrogenados nas silagens.

Palavras-chave: digestibilidade, inoculante microbiano, matéria seca, melaço, milho reconstituído, semiárido.

INTRODUÇÃO

O tomate (*Solanum lycopersicum*) é uma das commodities agrícolas mais produzidas e consumidas no mundo, respondendo por cerca de 150 milhões de toneladas por ano (Almeida *et al.*, 2021). No Brasil, 54.502 ha são destinados ao cultivo de tomate e no ano de 2022 cerca de 3,8 milhões de toneladas dessa fruta foram colhidas para consumo humano. Uma fração significativa do tomate é consumida como produtos processados, o que gera uma grande quantidade de subprodutos, como resíduos ou frutos descartados, bagaço, cascas e sementes, cujo manejo é um desafio (Bugatti *et al.*, 2019; Vidyarthi e Simmons, 2020). Para cada tonelada de tomate processado são gerados até 420 kg de subprodutos. Estes subprodutos contêm múltiplos nutrientes como compostos nitrogenados, fibra não forrageira e compostos bioativos (carotenóides, vitaminas E e C), minerais e não contém fatores antinutricionais, portanto, apresentam potencial para uso na alimentação de ruminantes. O resíduo industrial do tomate (RIT) gerado nas indústrias de processamento apresentam como destaque na composição química 250 g/kg de matéria seca, 190 g/kg MS de proteína bruta e digestibilidade da MS acima de 60%. O alto teor de umidade no RIT tem sido apontado por fazendeiros como fator que inviabiliza o manejo de armazenagem e utilização para os animais, o que requer a necessidade de criar alternativa de conservação desse material. A alta umidade no RIT pode ser usada como método de reidratação do milho grão moído. Sendo, portanto, uma alternativa de conservação, além de melhorar a digestibilidade dos nutrientes do milho *flint* cultivado no Brasil (Jacovaci *et al.*, 2021). Normalmente, a água é usada na reidratação do milho moído (Cruz *et al.*, 2021; Roseira *et al.*, 2023). Contudo, Soares *et al.* (2024) usaram a palma forrageira como método de reidratação do milho e verificaram melhora na digestibilidade da matéria seca e do amido do cereal. A justificativa desta pesquisa é que o RIT também possa ser utilizado para reidratação do milho grão e contribuir em melhorar o valor nutricional da silagem produzida. Contudo, o baixo teor de carboidratos solúveis em água presente no RIT e no milho, bem como a composição da flora epifítica presente no material gera incertezas quanto a qualidade da fermentação (Diógenes *et al.*, 2023). Assim, o uso de aditivos bacterianos, contendo microrganismos homofermentativos e heterofermentativos selecionados associados com uma fonte de carboidratos solúveis em água como o melaço de cana em pó podem contribuir em reduzir perdas de matéria seca da massa ensilada.

Com base no exposto, objetivou-se avaliar diferentes métodos de reidratação (água vs. RIT) do milho grão moído para produção de silagem, e avaliar diferentes aditivos na ensilagem de milho reidratado com RIT sobre o perfil fermentativo e valor nutricional das silagens.

MATERIAL E MÉTODOS

DECLARAÇÃO DE ÉTICA

Os procedimentos de cuidado e manejo dos animais utilizados no experimento estavam de acordo com diretrizes da Comitê de Ética no Uso de Animais da Universidade Estadual de Montes Claros (protocolo nº 011/2023).

LOCAL DO EXPERIMENTO

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental da UNIMONTES, no município de Janaúba (coordenadas geográficas: 15 ° 52'38 "S, 43 ° 20'05" W), Minas Gerais. O clima da região é do tipo Aw, com chuvas de verão e períodos de seca bem definidos no inverno. A precipitação média anual é inferior a 800 mm, com temperatura média anual de 27 °C.

TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Foram avaliados cinco tratamentos caracterizados pela reidratação do milho moído (1-2 mm) com água ou resíduo industrial de tomate com o objetivo de obter silagens com aproximadamente 35% de umidade. Os tratamentos foram: 1) Silagem de milho reidratado com água sem aditivos; 2) Silagem de milho reidratado com RIT sem aditivos; 3) Silagem de milho reidratado com RIT com inoculante bacteriano-enzimático; 4) Silagem de milho reidratado com RIT com inclusão de 2% de melaço de cana em pó; 5) Silagem de milho reidratado com RIT com inclusão de inoculante bacteriano-enzimático e 2% de melaço de cana em pó, base MN. O experimento foi conduzido seguindo o delineamento experimental inteiramente casualizado com cinco tratamentos e sete repetições.

CULTURAS E OBTENÇÃO DOS TRATAMENTOS

O grão de milho utilizado para a produção das silagens foi obtido no comércio local, já moído em peneira de 1-2 mm (tamanho de partícula). O resíduo industrial de tomate (RIT) foi

doado pela empresa Bestpulp® (<http://www.bestpulp.com.br/>), localizada na cidade de Janaúba-MG (coordenadas geográficas: 43° 16 '18" S, 15° 49' 49" W), Minas Gerais, Brasil.

Foi feita a reidratação do grão de milho com água e/ou RIT. Não foi utilizado aditivos na ensilagem de grãos de milho reidratado com água. No milho reidratado com RIT foram adicionados os aditivos em cada tratamento com a finalidade de melhorar a fermentação da silagem produzida. Foi aplicado 1 g do inoculante enzimático-bacteriano liofilizado SILOTRATO™ por tonelada de massa natural de milho moído, seguindo as recomendações do fabricante. O inoculante enzimático-bacteriano utilizado consistiu em uma combinação de *Lactobacillus curvatus*, *L. acidophilus*, *L. plantarum*, *L. buchneri*, *L. lactis*, *Pediococcus acidilactici* e *Enterococcus faecium*. Esses microrganismos estavam presentes em concentrações de 10^{10} UFC g⁻¹ e o produto continha 5% de um complexo enzimático, composto principalmente por celulase. Ressalta-se que o fabricante assegurou que o produto atendia aos padrões de qualidade especificados. Todos os tratamentos receberam o mesmo volume de água decolorada (2 mL kg⁻¹). O inoculante foi avaliado quanto à atividade enzimática e à composição bacteriana, independentemente das informações fornecidas pelo fabricante. Foi utilizado melaço de cana-de-açúcar em pó como aditivo rico em carboidratos solúveis em água, doado pela empresa Melaço de Cana, localizada em Saltinho, São Paulo, Brasil.

PROCESSO DE ENSILAGEM

Foram utilizados silos experimentais de polyvinyl chloride (PVC) de peso conhecido, com 50 cm de comprimento e 10 cm de diâmetro. O fundo dos silos continha 10 cm de areia seca (400 g) que foi separada da massa de milho reidratado por espuma para quantificar o efluente produzido. O material resultante de cada tratamento foi depositado nos silos e compactado com um êmbolo de madeira. Para cada tratamento, quantificou-se a densidade da silagem (~900 kg de material natural m⁻³) e depositando-se aproximadamente 4 kg do material misturado. Após o enchimento, os silos foram fechados com tampas de PVC equipadas com válvulas tipo *Bunsen*, seladas com fita adesiva e pesadas. Os silos foram armazenados à temperatura ambiente por 72 dias após a ensilagem.

ESTABILIDADE AERÓBIA

A estabilidade aeróbica foi determinada colocando-se uma amostra de silagem (aproximadamente 2,5 kg) em minisilo e mantida em uma sala com temperatura ambiente controlada (24,5–25,5 °C). A temperatura da silagem foi mensurada a cada hora usando *data logger* colocado no centro da massa por sete dias. A temperatura ambiente também foi mensurada a cada hora por um coletor de dados colocados perto dos minisilos. A estabilidade aeróbica foi definida como o número de horas em que a temperatura da silagem permaneceu estável antes de aumentar mais de 2 °C acima da temperatura ambiente (Moran *et al.*, 1996).

PERDAS FERMENTATIVAS

As perdas totais de matéria seca nas silagens sob as formas de gases e efluentes foram quantificadas por diferença de peso de acordo com Jobim *et al.* (2007). Para a perda por efluente foi utilizada a equação 1.

$$E = (Pab - Pen) / (MVfe) \times 1000 \quad \text{(Equação 1) onde:}$$

E: produção de efluentes (kg/tonelada de massa verde); Pab: peso do conjunto (silo+tampa+areia úmida+espuma) na abertura (kg); Pen: peso do conjunto (silo+tampa+areia seca+ espuma) na ensilagem (kg); MVfe: massa verde de forragem ensilada (kg).

A perda de matéria seca na forma de gases foi calculada pela diferença entre o peso bruto da matéria seca ensilada inicial e final, em relação à quantidade de MS ensilada, descontados o peso do conjunto silo e areia seca, conforme a equação (2):

$$G = [(PCen - Pen) * MSen] - [(PCab - Pen) * MSab] \times 100 [(PCen - Pen) * MSen] \quad \text{(Equação 2) em que:}$$

G: perdas por gases (%MS); PCen: peso do silo cheio na ensilagem (kg); Pen: peso do conjunto (silo+tampa+areia seca+ espuma) na ensilagem (kg); MSen: teor de matéria seca dos alimentos misturados na ensilagem; PCab: peso do silo cheio na abertura (kg); MSab: teor de matéria seca das silagens na abertura. A recuperação da MS para cada silo foi calculada com base no peso inicial e final nos teores de MS dos alimentos misturados na ensilagem e silagens conforme Jobim *et al.* (2007).

AVALIAÇÃO DO NITROGÊNIO AMONÍACAL, ÁCIDOS ORGÂNICOS E PH

Imediatamente após abertura dos silos, uma amostra de cada tratamento (25 g) foi misturada em 100 mL de água destilada e uma alíquota de 10 mL utilizada para mensurar o nitrogênio amoniacal (N-NH₃) conforme o método descrito Detmann *et al.* (2021). Uma alíquota de 10 mL da solução foi acidificada com ácido metafosfórico a 2% para quantificação dos ácidos orgânicos. Os ácidos graxos voláteis foram determinados por cromatografia líquida (Shimadzu® Prominence System modelo 20A, Kyoto, Japão) equipado com detector UV-Vis

ajustado para 210 nm, injetor automático calibrado para 5 µL de volume de amostra e 300 x Coluna Rezex™ ROA-Ácido Orgânico + 7,8 mm (Phenomenex) mantido a 60 °C em estufa. Os analitos foram diluídos com 2,5 mM de H₂SO₄ a uma taxa de fluxo de 0,6 mL min⁻¹. Padrões externos foram usados para fins quantitativos de calibração. Posteriormente, após repouso da solução de cada amostra por 30 minutos foi mensurado o pH com auxílio de um potenciômetro (Hanna, Hanna® instruments, Barueri, SP, Brasil; <https://hannainst.com.br/>).

COMPOSIÇÃO QUÍMICA E CINÉTICA RUMINAL

Uma parte das silagens foi pré-seca em estufa de ventilação forçada a 55 °C. Posteriormente, todas as amostras foram moídas em moinho de facas com peneira de malha com crivos de 2 mm de diâmetro e parte destas foram novamente moídas utilizando-se a peneira de 1 mm para análises laboratoriais. A porção das amostras com partículas de 2 mm de diâmetro foi utilizada para incubação *in situ* (degradabilidade ruminal e frações fibrosas indigestíveis).

As amostras foram analisadas quanto aos teores de matéria seca (INCT-CA G-001/1 e G-003/1), cinzas (INCT-CA M-001/2), proteína bruta (INCT-CA N-001/2), extrato etéreo (INCT-CA G-004/1), fibra em detergente neutro (FDN; INCT-CA F-001/2) e a fibra em detergente ácido (INCT-CA F-003/2), com uso de alfa-amilase, fibra em detergente neutro indigestível (FDNi) (INCT-CA F-008/2), lignina (INCT-CA F-005/2) e os carboidratos não fibrosos, seguindo as recomendações descritas em Detmann *et al.* (2021). O teor de nutrientes digestíveis totais (NDT) foi estimado de acordo com NRC (2001). A composição química dos ingredientes *in natura* utilizados na produção de silagem está apresentada na Tabela 1.

Tabela 2 - Composição química dos ingredientes utilizados na produção de silagem

Item (% MS)	Milho	Resíduo de tomate	Melaço
pH	6,8	3,00	6,9
Matéria seca, % da MN	87,98	24,46	94,63
Cinzas	1,48	4,46	4,85
Proteína bruta	9,28	19,49	3,52

Extrato etéreo	3,53	9,07	0,85
Fibra em detergente neutro	13,00	56,29	1,26
Fibra em detergente ácido	4,50	37,62	0,05
Matéria seca indigestível	8,72	42,51	6,48
Fibra em detergente neutro indigestível	3,68	14,17	1,84
Fibra em detergente ácido indigestível	1,66	8,17	0,59

MS – Matéria seca; MN – matéria natural

Para o ensaio de cinética ruminal, seguiu-se a metodologia (Método G-009/1) descrita por Detmann *et al.* (2021). Foram utilizados dois bois mestiços canulados no rúmen, com peso corporal médio de 550 ± 30 kg. Os animais foram adaptados por 14 dias à dieta contendo volumoso: concentrado na proporção de 70:30 com base na MS, com 13,5% de proteína bruta e 64% de NDT. A fração volumosa da dieta era composta por silagens (50% silagem de sorgo BRS 716 e 25 % palma forrageira) e 30% concentrado contendo silagens de milho reidratado com RIT. O fornecimento de água e sal mineral foi *ad libitum*. O consumo de MS dos animais foi estimado em 2,1% do peso corporal e as médias de pH e nitrogênio amoniacal ruminal no momento da incubação foram de 6,5 e 12,04 mg/dL, respectivamente.

A técnica de degradabilidade *in situ* foi realizada usando sacos de tecido não tecido de 7,5 x 15 cm (TNT, peso 100) com porosidade aproximada de 60 μ m, de acordo com Casali *et al.* (2009). O número de amostras foi determinado a partir da razão de 20 mg de MS.cm⁻² de área de superfície do saco (Nocek, 1988). As amostras foram depositadas na região do saco ventral do rúmen por 0, 3, 6, 12, 24, 48, 72, 96, 120 e 144 horas. Todas as amostras foram retiradas e lavadas em água fria. Posteriormente, as amostras foram colocadas em estufas a 55 °C durante 120 horas. Os resíduos remanescentes foram analisados quanto aos teores de MS e FDN conforme metodologia supracitada. A percentagem de degradação foi calculada pela proporção de alimentos remanescentes nos sacos após a incubação ruminal.

Os dados obtidos foram ajustados para uma regressão não linear pelo método de Gauss-Newton, por meio do software SAS (<https://welcome.oda.sas.com/>; SAS Institute, 2008), conforme a equação proposta por Detmann *et al.* (2021): $D_t = A + B \times (1 - e^{-c \times t})$, em que: Y = degradação acumulada do componente nutritivo analisado, após o tempo t; a = intercepto de curva de degradação quando t = 0, que corresponde à fração solúvel em água do componente nutritivo analisado; b = potencial da degradação da fração insolúvel em água do componente nutritivo analisado; a+b = degradação potencial do componente nutritivo

analisado quando o tempo não é fator limitante; c = taxa fracional de degradação (h^{-1}); t = tempo de incubação. Depois de calculados, os coeficientes a , b e c foram aplicados à equação proposta por Detmann *et al.* (2021): $DE = a + (b \times c / (c + k))$, em que: DE = degradação ruminal efetiva do componente nutritivo analisado; k = taxa de passagem de partículas no rúmen estimadas em $5\% \text{ h}^{-1}$ (AFRC, 1993).

ANÁLISES MULTIVARIADAS

A análise de componentes principais (PCA) foi aplicada para melhor compreender a natureza da relação entre as variáveis estudadas e as variáveis independentes. Para essa análise, foram consideradas 32 características avaliadas. A partir da matriz de correlação entre as características, os dados foram submetidos à PCA, na qual as variáveis foram padronizadas para média igual a zero e variância igual a um. Utilizou-se uma matriz de correlação em vez de uma matriz de covariância (Johnson e Wichern, 2007). O método proposto por Kaiser (1960) foi empregado para selecionar os componentes principais que melhor simplificaram a variabilidade presente no conjunto de dados e que compuseram as demais análises e interpretações. Nesse método, foram mantidos os autovalores iguais ou superiores a um (1), uma vez que as variáveis originais também apresentam variância igual a um após a padronização.

ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados foram analisados com modelo contendo os efeitos fixos das silagens (tratamentos). As médias foram comparadas usando o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. O contraste entre a silagem controle (milho reidratado com água) e silagem de milho reidratado com RIT foram comparados pelo teste de F. O procedimento UNIVARIATE foi utilizado para detectar outliers ou valores influentes e examinar a normalidade dos resíduos.

As variáveis referentes ao perfil fermentativo e composição química foram analisadas conforme o modelo: $Y_{ij} = \mu + t_i + e_{ij}$,

Em que:

Y_{ij} = valor observado para variável i em relação ao tratamento na j repetição; m = média de todas unidades experimentais para variável em estudo;

t_i = efeito do tratamento i no valor da observação Y_{ij} ;

e_{ij} = erro associado a observação Y_{ij} independente, que por hipótese tem distribuição normal com média zero e variância δ^2 .

O ensaio de degradabilidade ruminal da MS e FDN foi conduzido em delineamento em blocos casualizados em parcelas subdivididas, sendo cinco tratamentos (parcelas) e 10 tempos de incubação (subparcelas). Os dados foram analisados com modelo contendo os efeitos fixos das silagens (tratamentos). As médias foram comparadas usando o contraste a 5% de probabilidade. Foi utilizado o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + B_j + P_k + TP_{ik} + e_{ijk}$$

Em que:

Y_{ijk} = A observação referente ao tempo (P) na subparcela k do tratamento (T) i no bloco j ;

μ = constante associada a todas as observações;

T_i = Efeito do tratamento “ i ”, com $i = 1, 2, 3, 4$ e 5 ; B_j = Efeito do bloco j , com $j = 1$ e 2 ;

e_{ij} = erro experimental associado às parcelas que por hipótese tem distribuição normal com média zero e variância δ^2 ;

P = Efeito do tempo de incubação k , com $k=1,2,3,4,5,6,7,8,9$ e 10 ;

TP_{ik} = Efeito da interação do nível i de Tratamento com o nível k do Tempo de incubação;

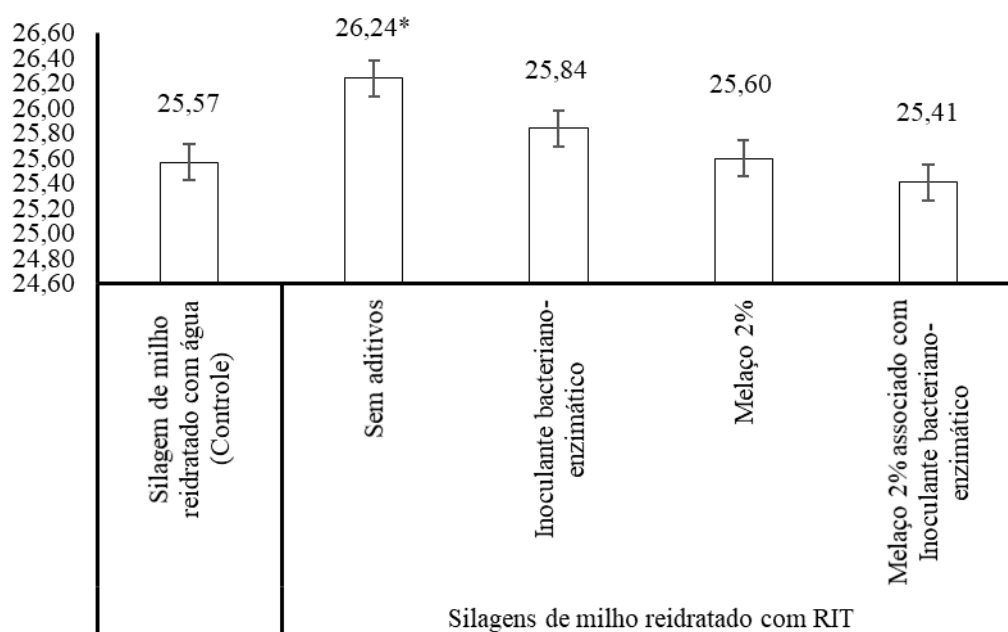
E_{ijk} = erro experimental associado a todas as observações que por hipótese tem distribuição normal com média zero e variância δ^2 . Para a análise exploratória dos dados por meio da Análise de Componentes Principais (ACP), foi utilizado o software PAST® 4.03 (Hammer *et al.*, 2001).

RESULTADOS

ESTABILIDADE AERÓBIA

Não houve interação ($P=0,08$) das silagens e o tempo após abertura sobre os valores de temperatura. Entre os métodos de reidratação foi verificado que após 168 horas pós-abertura dos silos, as silagens de milho reidratado com RIT apresentaram temperatura 2,55% superior a silagem controle (Milho reidratado com água; Figura 1). Em relação ao uso de aditivos nas silagens de milho reidratado com RIT não houve diferença entre os tratamentos sobre a temperatura (média de 25,77°C).

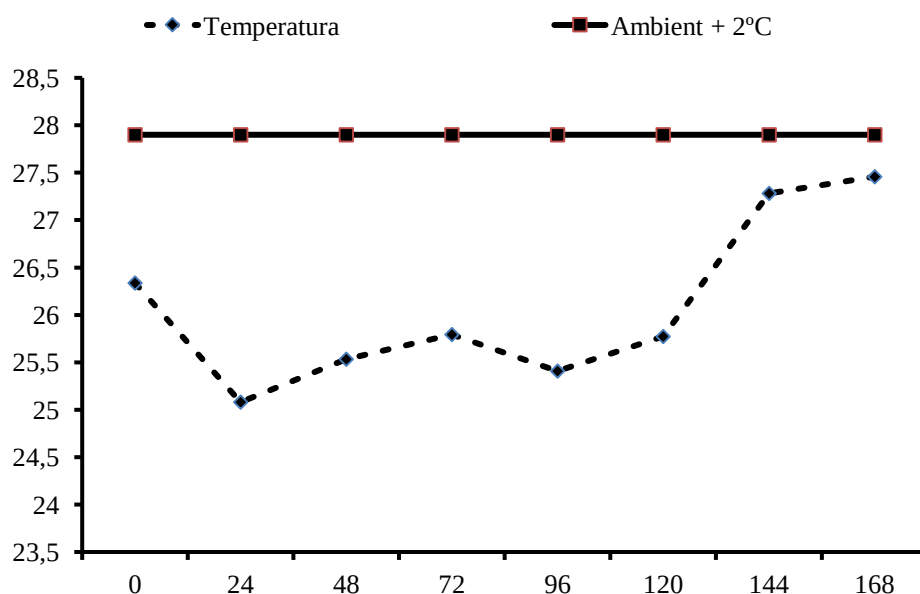
Figura 1 - Valores médios da temperatura durante a estabilidade aeróbia (168 horas) de diferentes silagens milho reidratado. RIT – Resíduo Industrial de Tomate.



Médias seguidas de * diferem entre si ($P<0,05$) em comparação aos métodos de reidratação do milho.

As maiores temperaturas das silagens foram verificadas após 144 horas de abertura dos silos (Figura 2). Não foi observada quebra da estabilidade aeróbia nos tempos avaliados.

Figura 2 - Valores médios da temperatura de diferentes silagens milho reidratado durante a estabilidade por aeróbia 168 horas.



PERFIL FERMENTATIVO E PERDAS DE MATÉRIA SECA

Houve diferença entre os métodos ($P < 0,01$) de reidratação do milho sobre os valores de pH da silagem. As silagens de milho reidratado com RIT apresentaram 0,16 unidades de pH a mais em comparação ao tratamento controle. Entre os aditivos avaliados, houve maior valor de pH na silagem de milho reidratado com RIT sem aditivos e associado com melaço (média de 4,22; Tabela 3). As maiores perdas de nitrogênio amoniacal foram verificadas nas silagens de milho reidratado com água em comparação ao RIT. Não houve diferença entre as silagens de milho reidratado com RIT associadas com aditivos sobre os teores de nitrogênio amoniacal (média de 4,67% do NT). Não houve diferença entre as silagens sobre as perdas totais de MS (média de 3,45% da MS) e perdas por gases (média de 4,57%).

Tabela 3 - Perfil fermentativo e perdas de matéria seca de silagens de milho grãos reidratado com água ou resíduo industrial de tomate associado com diferentes aditivos

Item	Silagens de Milho Reidratado ¹					EPM	P-valor	
	Métodos		Aditivos				Métodos	aditivos
	Água	RIT	Inoculante	Melaço	Melaço +Inoculante			
pH	4,09	4,25*a	4,18 b	4,20a	4,15b	0,02	0,01	<0,01
Nitrogênio amoniacal, % NT	7,52	4,44*	4,8	5,17	4,27	0,56	<0,01	<0,01
Perdas Totais, % MS	3,74	3,49	2,05	3,45	4,56	0,61	0,8	0,06
Perdas por gases, % MS	5,08	4,68	3,12	4,59	5,39	0,66	0,63	0,16
Perdas por efluentes, kg t ⁻¹	7,51*	5,91a	3,79b	7,38a	6,79a	0,57	0,01	<0,01
Temperatura inicial, °C	25,74	27,08*a	26,78a	26,28b	25,81b	0,15	<0,01	<0,01
Recuperação da MS, %	93,58	92,67 b	97,75 a	90,49 b	91,71 b	1,71	0,69	<0,01
Ácido succínico, % MS	1,33	3,17*b	7,76a	1,7c	1,46c	0,74	0,04	<0,01
Ácido láctico, % MS	16,35	17,62a	20,89a	8,53b	16,35a	1,57	0,6	<0,01
Ácido acético, % MS	5,27	3,15d*	7,7a	6,07b	4,62c	0,65	<0,01	<0,01
Ácido butírico, % MS	0,44	1,77*	1,64	1,44	1,43	0,18	<0,01	0,49
Ácido propiônico, % MS	1,16	0,93d	4,93a	2,32b	1,32c	0,28	0,19	<0,01
Etanol, % MS	1,65	0,89*	0,99	0,46	1,00	0,16	0,03	0,09

¹ Silagem de milho moído (1-2mm) reidratado com água (35%); Silagem de milho reidratado com resíduo industrial de tomate (RIT; 35% da MN) sem aditivos; Silagem de milho reidratado com RIT (35%) com aditivos bacteriano-enzimático; Silagem de milho reidratado com RIT (35% da MN) com melaço (2% de inclusão na MN); Silagem de milho reidratado com RIT (35% da MN) com aditivo bacteriano-enzimático e melaço. MN – matéria natural; EPM- erro padrão da média; P-probabilidade; Médias seguidas de mesmas letras na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-knott (P>0,05). * Médias seguidas de * diferem da silagem controle pelo teste de F (P<0,05).

Houve diferença entre os métodos ($p=0,01$) de reidratação do milho grão sobre as perdas por efluentes nas silagens. Foi verificado maior perda por efluente na silagem de milho reidratado com água. Entre os aditivos, foi observada menores perdas por efluentes na silagem de milho grão reidratado com RIT associado com inoculante bacteriano-enzimático. Houve maior temperatura ($P<0,01$) na silagem de milho reidratado com RIT em comparação a silagem controle. Entre os aditivos, foram verificadas menores médias de temperatura na silagem de milho reidratado com RIT associado com melaço e melaço com inoculante. Não houve diferença entre os métodos ($p=0,69$) de reidratação do milho sobre a recuperação da MS (média de 93,12%). Entre os aditivos, foi observada maior recuperação da MS na silagem de milho reidratado com RIT associado com inoculante bacteriano-enzimático.

Houve diferença entre os métodos de reidratação do milho sobre os ácidos orgânicos. A maior concentração de ácido succínico ($p=0,04$) foi 58,04% superior na silagem de milho reidratado com RIT. Ainda sobre os métodos, as silagens de milho reidratado com água apresentaram maiores concentrações de ácido acético ($p<0,01$) e etanol ($p=0,03$). As silagens de milho reidratado com água apresentaram menores concentrações de ácido butírico em comparação as silagens com RIT. O uso do aditivo inoculante bacteriano-enzimático aumentou a concentração de ácido succínico nas silagens de milho reidratado com RIT. A silagem de milho reidratado com RIT associado com melaço apresentou concentração de ácido láctico 53,33% inferior as demais silagens. As silagens de milho reidratado com RIT associado com inoculante apresentaram maiores concentrações de ácido acético ($P<0,01$) e ácido propiônico ($P<0,01$). Não houve diferença ($p=0,049$) entre os aditivos sobre a concentração de ácido butírico (média de 1,57% da MS) e etanol (média de 0,83% da MS) nas silagens de milho reidratado com RIT.

COMPOSIÇÃO QUÍMICA

Houve diferença ($P<0,05$) entre os métodos de reidratação do milho sobre as variáveis da composição química, exceto para o teor de cinzas (média de 5,69 %; $P=0,10$). Houve maior teor de MS, proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), lignina, celulose, matéria seca indigestível, fibra em detergente neutro indigestível, fibra em detergente ácido indigestível nas silagens de milho reidratado com RIT. O uso do RIT na reidratação do milho aumentou 34,06% no teor de proteína bruta em comparação a

silagem de milho reidratado com água. O uso de RIT como método para reidratação do milho reduziu ($P<0,05$) o teor de carboidratos totais, carboidratos não fibrosos e digestibilidade *in vitro* da MS das silagens (Tabela 4).

Tabela 4 - Composição química de silagens de milho grãos reidratado com água ou resíduo industrial de tomate associado com diferentes aditivos

Item	Silagens de Milho Reidratado ¹					EPM	P-valor	
	Métodos		Aditivos					
	Água	RIT	Inoculante	Melaço	Melaço +Inoculante		Métodos	aditivos
Composição química (% MS)								
Matéria seca, %	59,87	63,11*b	65,88a	60,63b	65,00a	1,08	<0,01	<0,01
Cinzas, %	6,42	4,97	3,51	3,94	3,75	0,48	0,1	0,12
Proteína bruta, %	8,36	12,68*a	12,14b	13,02a	11,96b	0,2	<0,01	<0,01
Extrato etéreo, %	4,95	6,12	5,6	6,17	5,35	0,29	<0,01	0,21
Fibra em detergente neutro, %	6,86	13,68*	13,89	13,95	13,53	0,4	<0,01	0,86
Fibra em detergente ácido, %	3,2	9,36*	9,16	9,57	8,74	0,39	<0,01	0,58
Lignina, %	0,64	4,13*	4,01	3,96	4,07	0,2	<0,01	0,95
Celulose, %	2,56	5,24*	5,15	5,6	4,67	0,28	<0,01	0,22
Carboidratos Totais	80,25	76,21*b	78,74a	76,86b	78,92a	0,57	<0,01	<0,01
Carboidratos não fibrosos	73,39	62,52*b	64,84a	62,90b	65,39a	0,76	<0,01	0,02
Digestibilidade <i>in vitro</i> (% MS)								
Matéria seca, %	90,78	82,26*	81,75	82,52	80,06	1,27	<0,01	0,53
Fibra em detergente neutro, %	78,67	68,30*b	66,92b	71,28 a	72,55a	1,51	<0,01	<0,05
Proteína bruta, %	84,17	80,73*b	82,46a	83,42a	80,94b	0,59	<0,01	0,01
Fração indigestível (% MS)								
Matéria seca, %	6,13	15,23*	12,04	13,07	11,99	1,04	<0,01	0,12
Fibra em detergente neutro, %	5,33	14,05*	11,04	11,42	10,86	0,93	<0,01	0,08
Fibra em detergente ácido, %	2,68	10,21*a	8,15b	7,72b	7,30b	0,73	<0,01	0,05

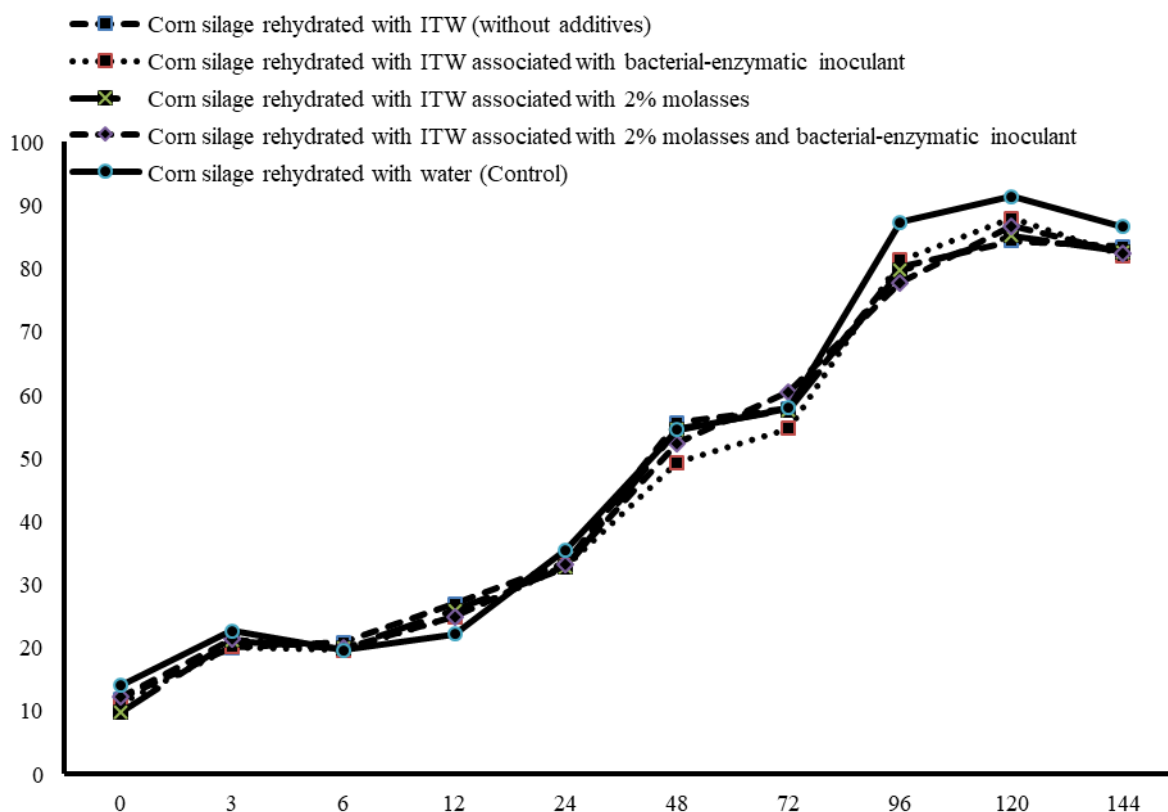
¹ Água - Silagem de milho moído (1-2mm) reidratado com água (35%) (Controle); RIT - Silagem de milho reidratado com resíduo industrial de tomate (RIT; 35% da MN) sem aditivos; Silagem de milho reidratado com RIT (35%) com aditivos bacteriano-enzimático; Silagem de milho reidratado com RIT (35% da MN) com melaço (2% de inclusão na MN); Silagem de milho reidratado com RIT (35% da MN) com aditivo bacteriano-enzimático e melaço. MN – matéria natural; EPM- erro padrão da média; P-probabilidade; Médias seguidas de mesmas letras na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-knott (P>0,05). * Médias seguidas de * diferem da silagem controle pelo teste de F (P<0,05).

Em relação a inclusão de aditivos nas silagens de milho reidratados com RIT, verificou-se maior teor de MS quando foi utilizado inoculante bacteriano-enzimático e melaço com inoculante. Os diferentes aditivos não modificaram ($P>0,05$) o teor de cinzas (média de 4,04%), extrato etéreo (média de 5,81%), fibra em detergente neutro (média de 13,76%), fibra em detergente ácido (média de 9,20%), lignina (média de 4,04%), celulose (média de %), digestibilidade *in vitro* da MS (média de 81,64%), matéria seca indigestível (média de 13,08%) e fibra em detergente neutro indigestível (média de 11,84%). Sobre os aditivos foi verificado maior teor de proteína bruta nas silagens de milho reidratado com RIT sem aditivos e nas silagens com melaço. As médias nesses tratamentos foram 6,22% superior em comparação às silagens com inoculante e melaço com inoculante. As silagens de milho reidratado com RIT associado com inoculante e melaço com inoculante apresentaram maiores teores de carboidratos totais e carboidratos não fibrosos, em relação às demais silagens com RIT. O maior teor de fibra em detergente ácido indigestível foi verificado na silagem de milho reidratado com RIT sem aditivos.

CINÉTICA RUMINAL

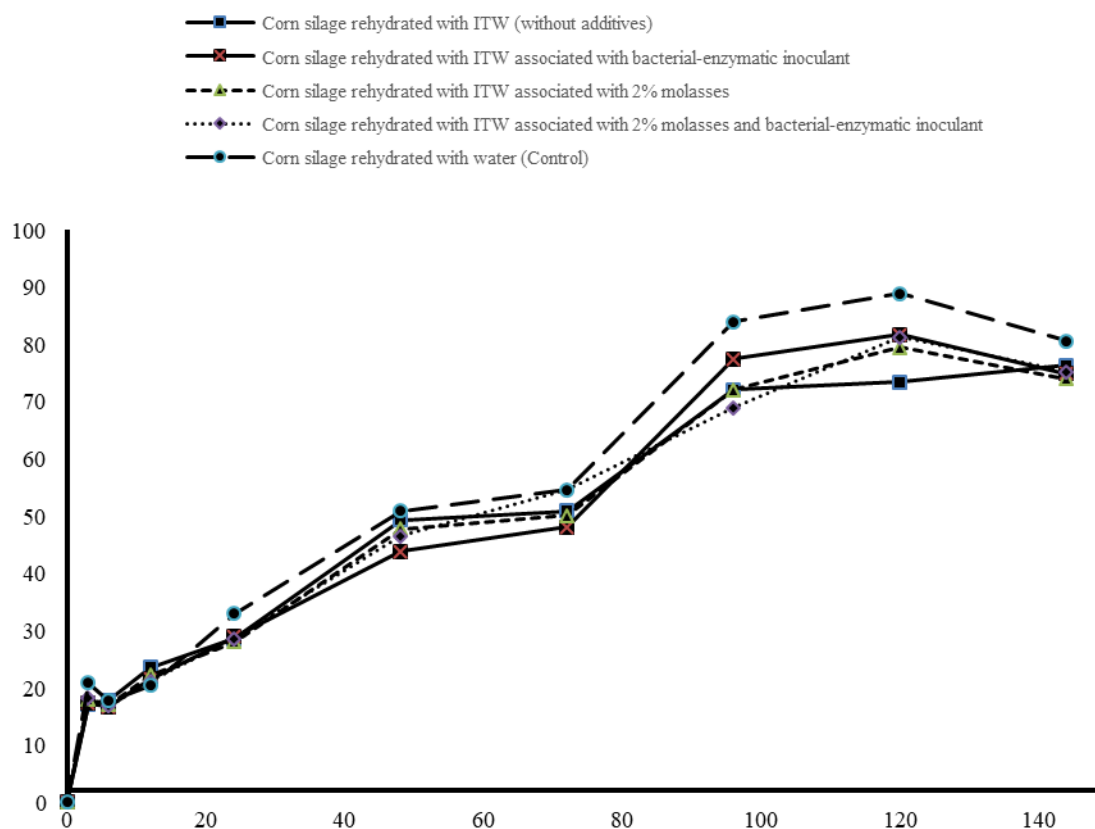
Houve interação das silagens e tempo de incubação ruminal sobre a degradabilidade potencial da matéria seca (Figura 3). Em geral, a degradabilidade potencial das silagens apresentou comportamento exponencial à medida que aumentou o tempo de incubação. Nos tempos 0, 3, 6, 12, 24, 48 e 72 horas não foram verificadas diferenças sobre a degradabilidade ruminal da MS entre as silagens. Após 96 horas de incubação foi verificado maior degradabilidade potencial nas silagens de milho reidratado com água e silagem de milho reidratado com RIT associado com inoculante bacteriano-enzimático. Nas silagens de milho reidratado com água após 120 horas de incubação foi verificado 91,35% de degradação ruminal da matéria seca não diferindo da silagem de milho reidratado com RIT associado com inoculante bacteriano-enzimático (média de 87,85%).

Figura 3 - Cinética ruminal da matéria seca das silagens de milho grão reidratado com água ou resíduo industrial de tomate associado com diferentes aditivos.



Houve interação das silagens e tempo de incubação ruminal sobre a degradabilidade potencial da fibra em detergente neutro (Figura 5). Em geral, a degradabilidade potencial da fibra das silagens variou de 18,23% até 76,12%. Nos tempos 0, 3, 6, 12 e 24 horas não foram verificadas diferenças entre as silagens sobre a degradabilidade potencial da fração fibrosa. No tempo 48 horas de incubação foi verificado maior degradabilidade potencial nas silagens de milho reidratado com água e silagem de milho reidratado com RIT sem aditivos e associado melaço (média de 49,67%). No tempo 72 horas de incubação foi verificado maior degradabilidade potencial nas silagens de milho reidratado com água e silagem de milho reidratado com RIT associado com 2% de melaço e inoculante bacteriano-enzimático (média de 54,54%).

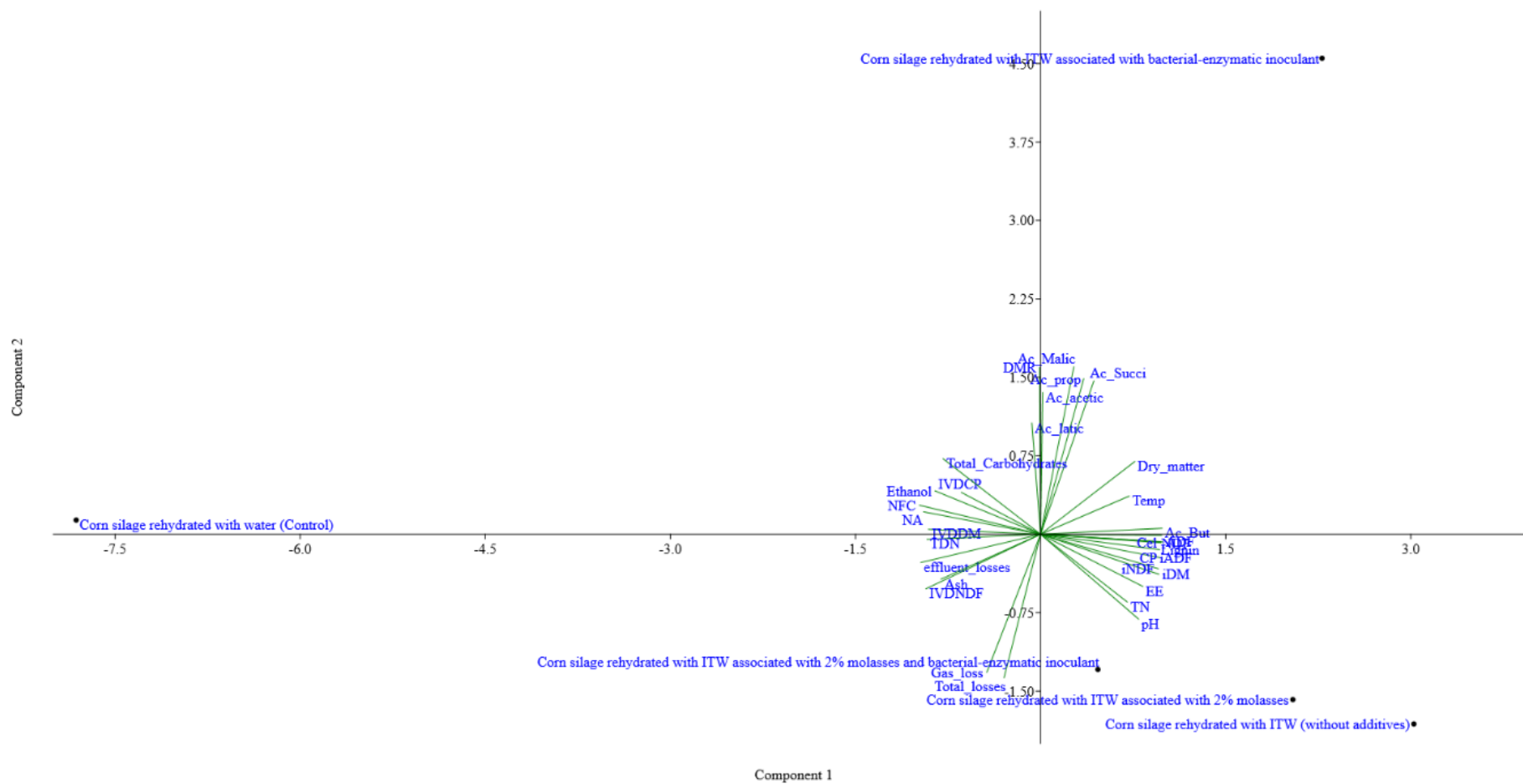
Figura 4 - Cinética ruminal da fibra em detergente neutro das silagens de milho grão reidratado com água ou resíduo industrial de tomate associado com diferentes aditivos.



COMPONENTES PRINCIPAIS

Os quatro primeiros PCA apresentaram autovetores acima de 1 que explicaram 99,99% da variância total dos resultados (Figura 5). Na análise dos componentes principais das silagens de milho grão reidratado com água ou resíduo industrial de tomate associado com diferentes aditivos (Figura 5), os componentes PCA 1 (62,36%) e PCA 2 (22,02%) apresentaram autovalores que explicaram 84,38% da variância dos dados. Dentro do PCA 1, o teor de fibra em detergente ácido (0,2216), concentração de ácido butírico (0,2210), perdas por efluentes (-0,2177) foram as variáveis que apresentaram coeficientes de ponderação mais elevados. No PCA 2, as concentrações de ácido lático (0,2386), acético (0,3042) e propiônico (0,3336) apresentaram maiores coeficientes de ponderação. Com base na Figura 5, as silagens que apresentaram maiores os teores de matéria seca correlacionaram negativamente com menores perdas por efluentes e perdas por gases.

Figura 5 - Representação gráfica do primeiro (CP1) e do segundo (CP2) componentes principais das variáveis avaliadas em silagens de milho grão reidratado com água ou resíduo industrial de tomate, associadas a diferentes aditivos.



Em relação às silagens, verificou-se que de modo geral, algumas variáveis como pH, EE, matéria seca indigestível e fibra em detergente neutro indigestível apresentaram comportamento semelhante nos tratamentos: Silagem de milho reidratada com RIT associada a 2% de melaço; silagem de milho reidratada com RIT (sem aditivos); e silagem de milho reidratada com RIT associada a 2% de melaço e inoculante enzimático-bacteriano.

DISCUSSÃO

Uma das hipóteses destacadas nesta pesquisa é que o RIT pode ser usado como método de reidratação do milho grão moído. O RIT pode ser uma fonte de reidratação para silagem de grãos porque tem alto teor de umidade, além disso, possui características nutricionais desejáveis para a nutrição de ruminantes. Um dos fatores que justifica essa afirmação é o comportamento da estabilidade aeróbia das silagens que não diferiram após aberturas dos silos. Após 168 horas de abertura dos silos não foi verificada quebra da estabilidade aeróbia das silagens. A quebra da estabilidade aeróbia é quando a temperatura da massa ensilada aumenta 2º acima da temperatura ambiente. Alguns autores (Arcari *et al.*, 2016; Ferraretto *et al.*, 2018) observaram que as silagens de grãos de milho reidratados com água apresentaram problemas de fermentação como baixa estabilidade aeróbica após a abertura do silo. Contudo, não foi verificado esse comportamento nesta pesquisa nas diferentes silagens após abertura dos silos.

Foi verificada maior temperatura durante a estabilidade aeróbica na silagem de milho reidratada com RIT (sem aditivos) em relação aos demais tratamentos. Apesar da variação de temperatura não chegar a 1ºC em relação à silagem de milho reidratado com água, as causas que podem contribuir são o que crescimento de fungos filamentosos e leveduras, o que pode ser atribuído a menor concentração de ácido acético nas silagens milho reidratada com RIT (sem aditivos) responsável por inibir o crescimento desses microrganismos após abertura do silo.

Quanto aos parâmetros da fermentação, foi verificado maior valor de pH na silagem de milho reidratada com RIT (sem aditivos) em relação a silagem controle (água), o que pode ser atribuído ao maior teor de compostos nitrogenados nas silagens com RIT que podem atuar como efeito tampão na massa ensilada. Contudo, os valores de pH em todas as silagens estão dentro do recomendado por Kung Jr *et al.* (2018) que pode variar entre 3,8 a 4,2. Um dos resultados importantes verificado nesta pesquisa que justifica o uso do RIT para reidratação do milho grãos é a não observação de perdas totais de MS durante a fermentação nas silagens. Quanto ao uso de aditivos nas silagens de milho reidratado com RIT também não foi verificado diferenças entre os tratamentos sobre as perdas totais de MS e perdas por gases. Contudo, quando se analisa as perdas por efluentes, verificou-se menores valores médios nas silagens com RIT associada ao uso de inoculante bacteriano-enzimático. Neste mesmo tratamento foi verificado maior recuperação da MS. Uma das funções importantes quando utiliza inoculante microbiano na ensilagem é a redução de perdas de MS. A proposta de avaliar o uso de aditivos nas silagens de milho reidratado com RIT é a variação na composição da população de bactérias epifíticas e a possibilidade do baixo teor de carboidratos solúveis no milho e no RIT não ser suficiente para síntese de ácido lático pelas bactérias homoláticas. Durante a fermentação, as bactérias ácido-láticas utilizam os carboidratos solúveis em água para produção de ácido lático. Com base nos resultados, não houve necessidade de usar o melaço como fonte de carboidratos solúveis porque não houve diferença no teor de ácido lático em comparação a silagem de milho reidratado com RIT sem aditivos. Contudo, a silagem de milho reidratado com inoculante bacteriano-enzimático apresentou-se com maior concentração de ácido acético. A concentração de ácido lático e ácido acético nas silagens tem grande relevância na conservação da massa ensilada. O ácido lático é importante que seja produzido rapidamente após a fase aeróbica porque este é responsável por reduzir o pH da massa ensilada que está próximo da neutralidade para valores de 3,8 a 4,2. Essa acidificação é importante para inibir o crescimento de microrganismos indesejáveis como o *Clostridium*, por exemplo (Kung Jr *et al.*, 2018). O ácido acético tem papel importante após abertura dos silos sobre o crescimento de fungos filamentosos e leveduras. O resultado da fermentação dos nutrientes das silagens por fungos e leveduras após abertura dos silos é o aumento da temperatura das silagens. Nesta pesquisa, a menor temperatura foi observada nas silagens de milho com

RIT associado ao melaço e melaço com inoculante. Com base na análise exploratória de dados, a concentração dos ácidos láctico, acético, málico e subclínico apresentaram coeficientes de correlação positiva no PC1 e PC2 em conjunto, o que destaca essas variáveis na tomada de decisão quando se pretende reidratar o milho com RIT. Os resultados da PCA também atribuíram a formação de grupos entre os tratamentos com destaque para a silagem de milho reidratado com RIT associado com inoculante bacteriano-enzimático que, em geral, apresentou maior concentração dos ácidos e recuperação da matéria seca dentro do PC1 e PC2. Com base na análise multivariada, silagens com maiores concentração de ácidos, exceto para o butírico, apresentam correlação negativa com perdas de MS, perdas por efluentes e gases. Em relação às perdas por efluentes, as silagens de milho reidratado com água e as silagens de milho reidratadas com RIT associada com melaço e melaço com inoculante apresentaram comportamento semelhantes.

Quanto à composição química das silagens entre os diferentes métodos de reidratação (Água vs RIT), verificou-se maior teor de MS na silagem de milho reidratado com RIT, o que pode ser atribuído ao deslocamento lento da água presente no RIT para milho. Esse processo contribuiu com as menores perdas de nitrogênio amoniacal nas silagens com RIT em comparação às silagens de milho reidratado com água. O teor de nitrogênio amoniacal é indicativo da qualidade dos processos fermentativos devido à proteólise na fermentação. As silagens quando malconservadas tendem a apresentar elevados teores de nitrogênio amoniacal, com este parâmetro superior a 10%. Em nenhuma das silagens avaliadas apresentaram teores de nitrogênio amoniacal superior a 10%.

O RIT é um subproduto da agroindústria que apresenta altos teores de proteína bruta, gordura bruta, fração fibrosa, lignina e menores teores de carboidratos totais. Por se tratar de um resíduo industrial, o RIT pode apresentar variações em sua composição, devido ao método de colheita e do processamento na indústria. Os componentes nutricionais presentes no RIT justificam as diferenças observadas nas silagens de milho reidratado com água e RIT. O teor de fibra em detergente ácido e lignina, por exemplo, contribuíram significativamente na menor digestibilidade da MS, fração fibrosa das silagens contendo RIT e degradabilidade ruminal da MS e FDN. A lignina é um composto fenólico tóxico aos microrganismos ruminais, o que contribuiu com a menor

digestibilidade da MS e maior proporção de frações indigestíveis. Além disso, durante o processamento do tomate para obtenção da polpa, o aquecimento da massa pode chegar até 120°C. Nesta pesquisa, o RIT no momento da ensilagem apresentou 62°C, o que pode ter contribuído para uma desnaturação da proteína, o que justifica a menor digestibilidade da proteína bruta e impactos na degradabilidade ruminal. O RIT apresenta elevados teores de fibras, podendo ser classificado como uma fonte de fibra não forrageira, o que justifica o aumento da fração fibrosa nas silagens milho reidratado RIT em comparação a silagem de milho reidratado com água.

Em relação ao uso de aditivos na silagem de milho reidratado com RIT, variações pontuais foram verificadas principalmente na composição química. O uso de inoculante bacteriano-enzimático e melaço associado ao inoculante na ensilagem de milho reidratado com RIT aumentaram os teores de carboidratos totais e carboidratos não fibrosos, o que pode ser justificável pelo menor teor de sais minerais nessas silagens, pelo aumento de carboidratos fibrosos como o RIT e CNF com a inclusão do melaço. Com base na análise multivariada, as silagens de milho reidratado com RIT associado com inoculante bacteriano-enzimático apresentaram um padrão de características das variáveis dependentes diferentes das demais silagens. Nessas silagens foram observadas variáveis com maiores coeficientes de correlação positivos no PCA1 e PCA 2. A maior concentração de ácido acético e propiônico nas silagens de milho reidratado com RIT associado ao inoculante bacteriano-enzimático sugere que é positivo o uso desse aditivo na ensilagem.

CONCLUSÕES

O resíduo industrial de tomate pode ser utilizado para reidratação do milho grão moído na ensilagem porque não altera as perdas de matéria seca e aumenta os teores de compostos nitrogenados nas silagens.

É favorável o uso de inoculante bacteriano-enzimático na ensilagem de milho grão moído reidratado com resíduo industrial de tomate, pois melhora a concentração de ácidos orgânicos importantes no processo de conservação e melhora a digestibilidade da proteína bruta e a recuperação da matéria seca ensilada.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), à Universidade Estadual de Montes Claros (Unimontes) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio concedido por meio de bolsas e auxílio à pesquisa.

DECLARAÇÃO DE DISPONIBILIDADE DE DADOS

Os dados que dão suporte a este estudo serão disponibilizados mediante solicitação ao autor correspondente.

CONFLITOS DE INTERESSE

O autor declara não haver conflitos de interesse.

DECLARAÇÃO DE FINANCIAMENTO

Este estudo foi financiado pela FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais).

REFERÊNCIAS

AFRC. Agricultural and Food Research Council. 1993. Energy and protein requirements of ruminants. Wallingford: CAB International.

Almeida, PV., Rodrigues, RP., Gaspar, MC., Braga, MEM., Quina, MJ. 2021. Integrated management of residues from tomato production: Recovery of value-added compounds and biogas production in the biorefinery context. J. Environ. Manag., 299, 113505. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113505>.

Arcari, MA., Martins, CMMR., Tomazi, T., Santos, MV. 2016. Effect of the ensiling time of hydrated ground corn on silage composition and in situ starch degradability. Braz. J. Vet. Res. Anim. Sci. 53, 60-71. <https://doi.org/10.11606/issn.1678-4456.v53i1p60-71>.

Bugatti, V., Brachi, P., Viscusi, G., Gorrasi, G. 2019. Valorization of tomato processing residues through the production of active bio-composites for packaging applications. Front. Mater. 6, 34. <https://doi.org/10.3389/fmats.2019.00034>.

Casali, AO., Detmann, E., Valadares Filho, SC., Pereira, JC., Cunha, M., Detmann, KSC., Paulino, MF. 2009. Estimation of fibrous compounds contents in ruminant feeds with bags made from different textiles. Rev. Bras. Zootec., 38, 130-138. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009000100017>.

Cruz, FNF., Monção FP., Rocha Júnior VR., Alencar, MAS., Rigueira, JPS., Silva, AF., Miorin, RL., Soares, ACM., Carvalho, CCS., Albuquerque, CJB. 2021. Fermentative losses and chemical composition and *in vitro* digestibility of corn grain silage rehydrated with water or acid whey combined with bacterial-enzymatic inoculant. Semina: Ciênc. Agrár. 42, 3497-3514. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2021v42n6p3497>.

Detmann, E., Silva, LFC., Rocha, GC., Palma, MNN., Rodrigues, JPP. 2021. Métodos para análise de alimentos. 2. ed. Visconde do Rio Branco, MG: Suprema, 350 p.

Diógenes, LV., Pereira Filho, JM., Edvan, RL., Oliveira, JPF., Nascimento, RR., Santos, EM., Alencar, EJS., Mazza, PHSS., Oliveira, RL., Bezerra, LR. 2023. Effect of Different Additives on the Quality of Rehydrated Corn Grain Silage: A Systematic Review. Ruminants, 3, 425-444. <https://doi.org/10.3390/ruminants3040035>.

Ferraretto, LF., Shaver, RD., Luck, BD. 2018. Silage review: recent advances and future technologies for whole-plant and fractionated corn silage harvesting. J. Dairy Sci. 101, 3937-3951. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13728>.

Hammer, O., Harper, DAT., Ryan, PD. 2001. PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. Pal. Electr., 4, 1-9.

Jacovaci, FA., Salvo, PAR., Jobim, CC., Daniel, JLP. 2021. Effect of ensiling on the feeding value of flint corn grain for feedlot beef cattle: A meta-analysis. Rev. Bras. Zoot., 50, e20200111. <https://doi.10.37496/rbz5020200111>.

Jobim, CC., Nussio, LG., Reis, RA., Schmidt, P. 2007. Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. Rev. Bras. Zoot., 36, 101-119. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982007001000013>.

Johnson, RA., Wichern, DW. 2007. Applied Multivariate Statistical Analysis. 6th ed., Pearson Prentice Hall: Upper Saddle River. <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1631962>.

Kaiser, HF. 1960. The application of electronic computers to factor analysis. Educational and Psychological Measurement, 20, 141-151. <https://doi.org/10.1177/001316446002000116>.

Kung Jr., L., Shaver, RD., Grant, RJ., Schmidt, RJ. 2018. Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. J. Dairy Sci., 101, 4020-4033. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13909>.

Moran, JP., Weinberg, ZG., Ashbell, G., Hen, Y., Owen, TR. 1996. A comparison of two methods for the evaluation of the aerobic stability of whole crop wheat silage. In: International Silage Conference, 11., 1996, Aberystwyth. Proceedings... Aberystwyth: University of Wales Aberystwyth, 1996. p. 162-163.

NRC. National Research Council. 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. 7th rev. ed. National Academies Press, Washington, DC, USA.

Nocek, JE. 1988. In situ and other methods to estimate ruminal protein and energy digestibility: a review. J. Dairy Sci. 71, 2051-2069. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(88\)79781-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(88)79781-7).

Roseira, JPS., Pereira, OG., Silveira, TC., Silva, VP., Alves, WS., Agarussi, MCN., Ribeiro, KG. 2023. Effects of exogenous protease addition on fermentation and nutritive value of rehydrated corn and sorghum grains silages. Scientific Reports, 13, 7302. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-34595-w>.

SAS Institute Inc. 2008. SAS/STAT 9.2 user's guide. Cary, NC: SAS Institute Inc.

Silva, NC., Nascimento, CF., Nascimento, FA., Resende, FD., Daniel, JLP., Siqueira, GR. 2018. Fermentation and aerobic stability of rehydrated corn grain silage treated with different doses of *Lactobacillus buchneri* or a combination of *Lactobacillus plantarum* and *Pediococcus acidilactici*. J. Dairy Sci. 101, 4158-4167. <https://doi.10.3168/jds.2017-13797>.

Soares, RL., Oliveira, JS., Santos, EM., Araújo, GGL., Santos, FNS., Gomes, PGB., Justino, ES., Pereira, DM., Cavalcanti, HS., Leite, GM., Torres Júnior, PC., Santos, MAC., Viana, NB. 2024. Corn grain rehydration methods: Water vs. cactus pear in the diet for feedlot

lams. Small Rumin. Res., 230, 107151.
<https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2023.107151>.

Vidyarthi, SK., Simmons, CW. 2020. Characterization and management strategies for process discharge streams in California industrial tomato processing. Sci. Total Environ. 723, 137976. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137976>.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O resíduo industrial de tomate (RIT) mostrou-se uma alternativa viável à água para a reidratação do milho grão moído destinado à ensilagem, nas condições experimentais avaliadas. Seu uso não aumentou as perdas totais de matéria seca e proporcionou menor perda de nitrogênio amoniacal, além de elevar o teor de proteína bruta das silagens. Dessa forma, o RIT apresenta potencial para ser utilizado como fonte de umidade, associando o processo de reidratação ao aproveitamento de um coproduto da indústria de processamento de tomate.

As silagens reidratadas com RIT apresentaram pH ligeiramente superior ao das silagens reidratadas com água, porém não foram observadas diferenças nas perdas totais de matéria seca e nas perdas por gases. Durante 168 horas de exposição ao ar, nenhuma das silagens apresentou quebra da estabilidade aeróbia. O uso do inoculante bacteriano-enzimático destacou-se por reduzir as perdas por efluentes e proporcionar maior recuperação de matéria seca, além de favorecer a produção de ácidos orgânicos, especialmente ácido acético e ácido propiônico.

A adição de 2% de melaço de cana, isoladamente ou associada ao inoculante, não proporcionou benefícios consistentes quanto às perdas de matéria seca e por gases. Na presença do melaço, observou-se menor concentração de ácido lático em relação às demais silagens contendo RIT, indicando que, nas condições avaliadas, sua utilização não foi necessária para favorecer a fermentação. O inoculante, por outro lado, apresentou resultados mais consistentes quanto à qualidade fermentativa e à recuperação da matéria seca.

O uso do RIT modificou a composição química das silagens, promovendo aumento dos teores de matéria seca, proteína bruta e das frações fibrosas, incluindo FDN, FDA e lignina, acompanhado de redução dos teores de carboidratos totais e de carboidratos não fibrosos e da digestibilidade in vitro da matéria seca. A degradabilidade ruminal apresentou comportamento dependente do tempo de incubação, com poucas diferenças nos períodos iniciais e respostas distintas nos períodos mais prolongados. A análise de componentes principais reforçou a importância das características

fermentativas, perdas e composição química na diferenciação das silagens, destacando o tratamento com inoculante.

De modo geral, o RIT apresenta potencial para substituir a água na reidratação do milho grão moído para ensilagem, sem comprometer as perdas de matéria seca e contribuindo para o aumento do teor de proteína bruta. Entre os aditivos avaliados, o inoculante bacteriano-enzimático apresentou os resultados mais favoráveis, principalmente quanto à redução das perdas por efluentes, recuperação de matéria seca e perfil de ácidos orgânicos. Entretanto, são necessários estudos adicionais que avaliem diferentes proporções de RIT, condições de processamento e armazenamento, bem como seus efeitos sobre o desempenho de animais alimentados com essas silagens.