



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**CURSO DE ZOOTECNIA**

**LUÍS ANTÔNIO SILVA BEZERRA DE MEDEIROS**

**PERFIL FERMENTATIVO DE SILAGENS DE RAÇÃO TOTAL A BASE DE  
PALMA FORRAGEIRA E SABUGO DE MILHO**

**AREIA**

**2026**

**LUÍS ANTÔNIO SILVA BEZERRA DE MEDEIROS**

**PERFIL FERMENTATIVO DE SILAGENS DE RAÇÃO TOTAL A BASE DE  
PALMA FORRAGEIRA E SABUGO DE MILHO**

Trabalho de Conclusão de Curso em Zootecnia da Universidade Federal da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Zootecnia.

**Orientador:** Prof. Dr. Edson Mauro Santos.

**Coorientador:** Me. Evandro de Sousa da Silva

**AREIA**

**2026**

**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catalogação e Classificação**

M488p Medeiros, Luís Antônio Silva Bezerra de.

Perfil fermentativo de silagens de ração total a base de palma forrageira e sabugo de milho / Luís Antônio Silva Bezerra de Medeiros. - Areia:UFPB/CCA, 2026.

25 f. : il.

Orientação: Edson Mauro Santos.

Coorientação: Evandro de Sousa da Silva.

TCC (Graduação) - UFPB/CCA.

1. Zootecnia. 2. Atividade microbiológica. 3. Semiárido. 4. Sistema de produção. I. Santos, Edson Mauro. II. Silva, Evandro de Sousa da. III. Título.

UFPB/CCA-AREIA

CDU 636(02)

LUÍS ANTÔNIO SILVA BEZERRA DE MEDEIROS

PERFIL FERMENTATIVO DE SILAGENS DE RAÇÃO TOTAL A BASE DE  
PALMA FORRAGEIRA E SABUGO DE MILHO

Trabalho de Conclusão de Curso em Zootecnia da Universidade Federal da Paraíba,  
como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Zootecnia. Aprovado em:  
04/03/2026.

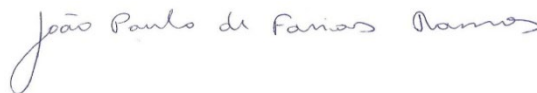
**BANCA EXAMINADORA**



---

Prof. Dr. Edson Mauro Santos (Orientador)

Universidade Federal da Paraíba (UFPB)



Prof. Dr. João Paulo de Farias Ramos

Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

**PAULO DA CUNHA TORRES JÚNIOR**

---

Me. Paulo da Cunha Tôres Junior

Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

Aos meus pais que com muito esforço e sacrificio  
me ajudaram chegar até aqui,

**DEDICO.**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por Sua infinita bondade e misericórdia, sendo minha fonte de força e sustento ao longo de toda essa caminhada, permitindo que eu chegasse até aqui. À Nossa Senhora, por sua intercessão constante, especialmente nos momentos mais difíceis, quando jamais me desamparou.

À minha mãe, Maria das Vitórias Silva, por todo o amor, apoio, orientação e dedicação incondicional. Sem ela, nada disso seria possível. À minha saudosa avó, Geralda de Melo Silva, por todos os conselhos, orações e pelo amor que sempre encontrei em sua casa, que foram essenciais para minha formação pessoal e acadêmica. Às minhas tias, Maria José e Maria Aparecida, pelo apoio, acolhimento e palavras de incentivo ao longo dessa trajetória. À minha irmã, que foi fonte constante de apoio, amizade e incentivo em todas as minhas escolhas.

Ao professor Edson Mauro, pelas oportunidades concedidas ao longo da graduação, pela dedicação e compromisso com o ensino. Ao meu coorientador, Evandro de Sousa, por aceitar essa missão e contribuir com seus conhecimentos. Ao Dr. Alberto Jeferson, que me acompanhou durante minha trajetória acadêmica, auxiliando com paciência, ensinamentos e incentivo ao desenvolvimento das pesquisas.

Ao meu amigo Paulo Junior, que me apresentou ao grupo de estudos e foi um grande apoio durante a graduação. Aos colegas do Bloco F3, que se tornaram ponto de apoio, amizade e companheirismo, tornando essa caminhada mais leve.

A todos os membros do GEF – Grupo de Estudos, do qual tive a honra de fazer parte, adquirindo valiosos conhecimentos e fortalecendo laços de companheirismo ao longo desses anos. Em Especial as minhas amigas Cleice e Gilvânia pela parceria e presença constante ao longo do curso. É lógico que a Milena que nessa reta final me ajudou muito.

Aos professores do Curso da UFPB, especialmente aos docentes do Departamento de Zootecnia, que contribuíram significativamente para minha formação por meio das disciplinas ministradas e debates realizados, colaborando para o desenvolvimento desta pesquisa. Aos funcionários da UFPB, pela presteza e atendimento sempre que necessário, e aos colegas de classe, pelos momentos de amizade, apoio e aprendizado compartilhado.

## RESUMO

A palma forrageira constitui importante alternativa alimentar para ruminantes em regiões semiáridas, em virtude de sua elevada adaptação às condições de restrição hídrica e expressiva produção de biomassa. Contudo, seu alto teor de umidade e baixa concentração de fibra efetiva demandam associação com ingredientes que elevem a matéria seca, especialmente quando destinada à ensilagem. Nesse contexto, objetivou-se avaliar o perfil fermentativo de silagens de ração total misturada (TMR) à base de palma forrageira associada ao sabugo de milho. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com seis tratamentos e cinco repetições, totalizando 30 unidades experimentais. As dietas foram formuladas com diferentes proporções de palma, milho, sabugo de milho, ureia e farelo de soja, sendo ensiladas por 45 dias. Após a abertura, avaliaram-se o pH, as populações de bactérias ácido-láticas, leveduras e mofos, bem como as concentrações de ácidos orgânicos (lático, acético, propiônico e butírico). Observou-se efeito significativo das dietas sobre o pH e os teores de ácidos orgânicos ( $P \leq 0,001$ ), enquanto as populações microbianas não foram influenciadas pelos tratamentos. Os valores de pH variaram entre 3,60 e 4,06, indicando fermentação adequada. As maiores concentrações de ácido acético foram registradas nas TMR1 e TMR2, dietas com menor teor de matéria seca e maior inclusão de ureia, enquanto as TMR com maior teor de matéria seca apresentaram menores concentrações desse ácido, evidenciando influência da umidade e da fonte de nitrogênio sobre a rota fermentativa. Os baixos teores de ácido butírico, especialmente nas TMR3, TMR5 e TMR6, indicaram ausência de fermentação clostrídica significativa, associada ao maior teor de matéria seca dessas dietas. Considerando o conjunto dos parâmetros fermentativos, a TMR6 destacou-se por apresentar menor pH, baixo teor de ácido butírico e adequado equilíbrio entre os ácidos orgânicos, sendo indicada como a formulação mais eficiente para ensilagem. Conclui-se que a silagem de ração total misturada à base de palma forrageira associada ao sabugo de milho apresenta adequado perfil fermentativo e estabilidade microbiológica, configurando estratégia viável e tecnicamente recomendada para sistemas de produção no semiárido.

**Palavras-Chave:** atividade microbiológica; semiárido; sistema de produção.

## ABSTRACT

Forage cactus is an important alternative feed for ruminants in semi-arid regions due to its high adaptation to water-restricted conditions and significant biomass production. However, its high moisture content and low concentration of effective fiber require association with ingredients that increase dry matter, especially when intended for silage. In this context, the objective was to evaluate the fermentative profile of total mixed ration (TMR) silages based on forage cactus associated with corn cob. The experiment was conducted in a completely randomized design, with six treatments and five replicates, totaling 30 experimental units. The diets were formulated with different proportions of cactus, corn, corn cob, urea, and soybean meal, and ensiled for 45 days. After opening, pH, lactic acid bacteria populations, yeasts and molds, as well as the concentrations of organic acids (lactic, acetic, propionic, and butyric) were evaluated. A significant effect of the diets on pH and organic acid content was observed ( $P \leq 0.001$ ), while microbial populations were not influenced by the treatments. pH values ranged from 3.60 to 4.06, indicating adequate fermentation. The highest concentrations of acetic acid were recorded in TMR1 and TMR2, diets with lower dry matter content and higher urea inclusion, while TMRs with higher dry matter content showed lower concentrations of this acid, evidencing the influence of moisture and nitrogen source on the fermentation pathway. The low levels of butyric acid, especially in TMR3, TMR5, and TMR6, indicated an absence of significant clostridial fermentation, associated with the higher dry matter content of these diets. Considering the set of fermentative parameters, TMR6 stood out for presenting the lowest pH, low butyric acid content, and adequate balance between organic acids, being indicated as the most efficient formulation for silage. It is concluded that total mixed ration silage based on forage palm associated with corn cob presents an adequate fermentation profile and microbiological stability, configuring a viable and technically recommended strategy for production systems in the semi-arid region.

**Keywords:** microbiological activity; semi-arid region; production system.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Proporção dos ingredientes de rações totais (TMR) a base de palma forrageira com base na matéria seca e matéria natural.....	15
Tabela 2 - Quantificação das populações microbianas de bactérias ácidos lácticas (BAL), leveduras (LEV) e mofos (MOFO), expressas em log <sub>10</sub> ufc/g de matéria natural, e valores de pH de ração totais ensiladas (TMRs) à base de palma forrageira e sabugo de milho.....	18
Tabela 3 - Teores de ácidos orgânicos, expressos em g/kg de matéria seca, de ração totais ensiladas (TMRs) à base de palma forrageira e sabugo de milho.....	19

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA	Ácido Acético
AB	Ácido Butírico
AL	Ácido Láctico
AP	Ácido Propiônico
BAL	Bactérias do Ácido Láctico
FDN	Fibra em Detergente Neutro
LEV	Leveduras
MS	Matéria Seca
PB	Proteína Bruta
pH	Potencial Hidrogeniônico
TMR	Ração em Mistura Total

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>12</b>
2.1.	<i>Palma forrageira na alimentação de ruminantes no semiárido.....</i>	12
2.2.	<i>Ração Total Misturada (TMR) como estratégia nutricional.....</i>	13
2.3.	<i>Ração Total Misturada à base de palma forrageira .....</i>	14
<b>3.</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>155</b>
3.1.	<i>Caracterização do local do experimento.....</i>	155
3.2.	<i>Delineamento experimental .....</i>	155
3.3.	<i>Análises laboratoriais .....</i>	16
3.3.1.	<i>Perfil fermentativo das silagens.....</i>	16
<b>4.</b>	<b>RESULTADO .....</b>	<b>188</b>
<b>5.</b>	<b>DISCUSSÃO .....</b>	<b>20</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>24</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A produção de ruminantes em regiões semiáridas enfrenta limitações estruturais associadas à irregularidade das chuvas, escassez de volumosos durante períodos de estiagem e redução da qualidade nutricional das pastagens nativas. Nesse contexto, a palma forrageira (*Nopalea spp.*) destaca-se como uma das principais alternativas alimentares, devido à sua boa adaptação às condições edafoclimáticas adversas, elevada eficiência no uso da água e expressiva produção de biomassa, podendo alcançar produtividades que variam de 150–250 toneladas de matéria verde (MV) por hectare por ano, dependendo do manejo e das condições ambientais, mesmo sob restrição hídrica (Albuquerque *et al.*, 2020).

Do ponto de vista nutricional, a palma forrageira apresenta características peculiares que justificam sua ampla utilização. Sua composição é marcada por elevado teor de água (variando entre 80 e 90%), baixo conteúdo de matéria seca (MS) (40-100 g/kg de MS), elevada concentração de carboidratos não fibrosos (423,0–728,0 g/kg de MS), elevada digestibilidade e baixos teores de fibra detergente neutro (FDN) (95,0–225,0 g/kg de MS) e proteína bruta (PB) (33,0–69,0 g/kg de MS) quando comparada a volumosos tradicionais (Dubeux Jr. *et al.*, 2017; Santos *et al.*, 2018).

Essa composição confere à palma elevada disponibilidade energética e importante contribuição hídrica à dieta, porém exige associação com fontes de fibra efetiva para manutenção da saúde ruminal, estímulo à mastigação e adequada produção de saliva, uma vez que dietas contendo níveis inferiores a 109 g de FDN proveniente de forragem por kg de MS comprometem a fermentação ruminal, reduzem o tempo de ruminação e a digestibilidade da fibra, podendo predispor os animais a distúrbios digestivos. Assim, recomenda-se a inclusão mínima de 109 g/kg de FDN de forragem (fNDF) em dietas à base de palma para garantir adequada função ruminal (Albuquerque *et al.*, 2020; Brito *et al.*, 2020; Pinho *et al.*, 2018).

A busca por maior eficiência nutricional tem impulsionado a adoção do sistema de ração total misturada (Total Mixed Ration – TMR), que consiste na mistura homogênea de volumosos e concentrados, reduzindo a seletividade alimentar e promovendo maior estabilidade no consumo de nutrientes. Estudos demonstram que a ensilagem da TMR pode contribuir para a padronização do manejo alimentar, redução de perdas e melhoria da estabilidade aeróbia do material, desde que respeitados os princípios de compactação, vedação e teor adequado de MS (Weinberg *et al.*, 2011; Yanti *et al.*, 2019).

Com isso, a inclusão de subprodutos agroindustriais nas dietas tem sido estratégia crescente para redução de custos e maior sustentabilidade dos sistemas produtivos. O sabugo

de milho apresenta-se como potencial ingrediente fibroso, com teores de fibra bruta que podem variar entre 30 e 45% da MS e elevados conteúdos de FDN, frequentemente superiores a 70% da MS, caracterizando-se como fonte de fibra estrutural e efetiva, capaz de estimular a ruminação e contribuir para o adequado funcionamento ruminal (Brito *et al.*, 2020; Pinho *et al.*, 2018).

Assim, esse subproduto pode corrigir a deficiência estrutural da palma e favorecer o equilíbrio da fração fibrosa da dieta. Trabalhos envolvendo TMR ensilada com inclusão de subprodutos agrícolas demonstram que essa prática mantém adequada qualidade fermentativa e estabilidade microbiológica, além de viabilidade nutricional (Weinberg *et al.*, 2011; Yanti *et al.*, 2019; Pereira *et al.*, 2025). Esses resultados reforçam que a utilização de ingredientes alternativos pode ser tecnicamente segura quando a formulação e o processo fermentativo são conduzidos de forma adequada. O uso de técnicas como a TMR no processo de ensilagem da palma forrageira, objetiva aumento de MS e redução da contaminação por microrganismos indesejáveis, garantindo melhor qualidade higiênica das dietas ensiladas.

Com isso, hipotetizou-se que o uso de rações completas na forma de silagem à base de palma forrageira, associadas à inclusão de subprodutos fibrosos como o sabugo de milho, melhoram o perfil fermentativo da silagem, promovendo equilíbrio entre produção de ácido láctico (AL) e ácido acético (AA) e adequado controle microbiológico. Sendo assim, este trabalho objetivou avaliar o perfil fermentativo de silagens de ração total misturada à base de palma forrageira e sabugo de milho.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. *Palma forrageira na alimentação de ruminantes no semiárido*

A palma forrageira consolidou-se como um dos principais recursos estratégicos para alimentação de ruminantes em regiões semiáridas, especialmente no Nordeste brasileiro. Sua importância está diretamente relacionada à elevada eficiência no uso da água, à adaptação às condições edafoclimáticas do semiárido e à capacidade de manter produção de biomassa mesmo sob longos períodos de estiagem. Embora tolere condições de menor fertilidade, seu desempenho produtivo é significativamente influenciado pelo manejo da adubação e pelas condições do solo, características que a tornam essencial para a estabilidade alimentar dos rebanhos em ambientes de clima irregular (Albuquerque *et al.*, 2020).

Do ponto de vista fisiológico, a palma forrageira apresenta metabolismo fotossintético do tipo CAM (Crassulacean Acid Metabolism), caracterizado pela abertura estomática predominantemente no período noturno, quando ocorre a fixação do CO<sub>2</sub> na forma de ácidos orgânicos, que são posteriormente metabolizados durante o dia para a fotossíntese. Esse mecanismo reduz significativamente a perda de água por transpiração, conferindo elevada eficiência no uso da água e explicando sua adaptação às condições de restrição hídrica típicas do semiárido (Nobel, 2001).

Além da sua resiliência agrônômica, a palma exerce papel relevante na manutenção do aporte energético das dietas durante períodos críticos. Diferentemente de volumosos tradicionais, sua elevada concentração de carboidratos solúveis (CHOs), que variam aproximadamente entre 423 e 728 g/kg de matéria seca, favorece rápida fermentação ruminal e boa digestibilidade. Entretanto, essa mesma característica implica baixa concentração de fibra fisicamente efetiva, tornando indispensável a associação com fontes fibrosas para garantir adequado funcionamento do rúmen. Para manutenção da saúde ruminal, recomenda-se que dietas para ruminantes contenham, em média, 28 a 34% de FDN na MS, sendo pelo menos 18 a 21% oriundos de fibra fisicamente efetiva, a fim de assegurar adequada ruminação, produção de saliva e estabilidade do pH ruminal (Mertens, 1997; NRC, 2001; Albuquerque *et al.*, 2020).

Albuquerque *et al.* (2020) observaram que dietas contendo palma promovem elevado consumo voluntário e boa digestibilidade da MS, mas destacam que a baixa concentração de FDN pode comprometer a mastigação e reduzir a produção de saliva, aumentando o risco de instabilidade ruminal, podendo desencadear distúrbios como acidose ruminal subclínica ou clínica, redução da gordura do leite, laminite e queda no desempenho produtivo. Nesse

contexto, a inclusão de ingredientes fibrosos passa a ser não apenas complementar, mas estruturalmente necessária.

Brito *et al.* (2020) demonstraram que a associação da palma com ingredientes com MS mais elevada durante a ensilagem melhora o perfil fermentativo, reduz perdas de MS e favorece melhor compactação da massa ensilada. Nesse contexto, rações na forma de TMR têm sido utilizadas tanto para corrigir o baixo teor de MS da palma quanto para possibilitar o aproveitamento de resíduos agroindustriais que poderiam ser descartados. Essa combinação contribui para elevar o teor de MS da mistura, condição essencial para adequada fermentação.

Dessa forma, embora a palma forrageira seja estratégica sob o ponto de vista produtivo e ambiental, sua utilização isolada apresenta limitações nutricionais que demandam formulação balanceada, especialmente quando destinada à ensilagem ou à composição de dietas completas.

## 2.2. Ração Total Misturada (TMR) como estratégia nutricional

A TMR consiste na homogeneização prévia de todos os ingredientes sólidos da ração, incluindo volumosos, concentrados, minerais e aditivos, garantindo ingestão uniforme de nutrientes e reduzindo a seletividade alimentar. Essa estratégia promove maior estabilidade do consumo diário e melhor aproveitamento dos ingredientes.

Quando submetida à ensilagem, a TMR passa por processo fermentativo semelhante ao das silagens convencionais. Weinberg *et al.* (2011), ao avaliarem a fermentação e a estabilidade aeróbia de dietas totais misturadas ensiladas contendo diferentes proporções de volumosos e concentrados, demonstraram que a TMR ensilada apresenta intensa produção de AL, com concentrações variando entre aproximadamente 60 e 90 g/kg de matéria seca, além de redução consistente do pH e manutenção dos parâmetros nutricionais durante o armazenamento. Além disso, observaram maior estabilidade aeróbia quando comparada à TMR fresca, reduzindo perdas após exposição ao ar.

Yanti *et al.* (2019) observaram que TMR contendo subprodutos agrícolas fermentou adequadamente, mantendo digestibilidade e balanço de nitrogênio satisfatórios. Esses resultados indicam que a inclusão de ingredientes alternativos não compromete o processo fermentativo quando a formulação é equilibrada.

### 2.3. *Ração Total Misturada à base de palma forrageira*

A formulação de TMR à base de palma forrageira representa avanço estratégico para sistemas produtivos do semiárido, pois combina a elevada disponibilidade energética da palma com ingredientes capazes de corrigir sua deficiência estrutural.

Pereira *et al.* (2025), em seu estudo, reportaram que TMR ensilada contendo palma associada a subprodutos manteve adequada qualidade fermentativa e estabilidade microbiológica. A combinação entre CHOs da palma e fração fibrosa dos ingredientes com maior teor de MS favorece ambiente fermentativo equilibrado.

Nesse contexto, a inclusão de subprodutos fibrosos como o sabugo de milho pode desempenhar papel determinante na correção do teor de FDN e na melhoria da estrutura física da dieta. Além de estimular mastigação e produção de saliva, o sabugo contribui para elevar o teor de MS da mistura, favorecendo melhor compactação e fermentação mais estável.

Assim, a TMR à base de palma integra segurança alimentar do rebanho, aproveitamento racional de subprodutos, redução de custos e maior sustentabilidade produtiva. Contudo, ainda há escassez de estudos específicos envolvendo sabugo de milho como ingrediente com maior teor de MS em TMR ensilada à base de palma, configurando lacuna científica relevante e justificando a condução do presente estudo.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Caracterização do local do experimento

O experimento foi realizado no Laboratório de Forragicultura do Centro de Ciências Agrárias (CCA) pertencente à Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Campus II, localizado no município de Areia, Paraíba, Brasil localizada nas coordenadas 6°57'46" S de latitude, 35°41'31" W de longitude com ±619 m de altitude.

#### 3.2. Delineamento experimental

O delineamento experimental adotado consistiu em inteiramente casualizado, composto por seis tratamentos com diferentes combinações, sendo cada tratamento constituído por uma ração de mistura total (TMR) à base de palma forrageira e distintas proporções de farelo de soja, milho, sabugo de milho e ureia. Cada tratamento contou com cinco repetições, totalizando trinta unidades experimentais. As dietas foram formuladas para atender às exigências nutricionais de bovinos de corte precoces, conforme recomendações do NRC (2000). As dietas, bem como as proporções dos ingredientes são apresentadas na tabela 1.

Tabela 1 - Proporção dos ingredientes de ração totais (TMR) a base de palma forrageira com base na matéria seca e matéria natural

<b>Proporção dos ingredientes % MS<sup>1</sup></b>						
<b>Dietas</b>	<b>PALMA</b>	<b>MILHO</b>	<b>SABUGO</b>	<b>UREIA</b>	<b>F. SOJA</b>	<b>TOTAL</b>
TMR1	49,98	23,59	23,32	3,10	0,0	100,00
TMR2	38,37	19,60	38,75	3,28	0,0	100,00
TMR3	30,11	16,76	49,71	3,41	0,0	100,00
TMR4	51,58	23,59	12,83	1,50	10,50	100,00
TMR5	40,15	19,60	27,11	1,50	11,64	100,00
TMR6	32,02	16,76	37,22	1,50	12,50	100,00
<b>Proporção dos ingredientes % MN<sup>2</sup></b>						
TMR1	88,9	5,2	5,2	0,6	0,0	100,0
TMR2	83,3	5,3	10,6	0,8	0,0	100,0
TMR3	77,5	5,4	16,2	1,0	0,0	100,0

TMR4	89,5	5,1	2,8	0,3	2,3	100,0
TMR5	84,3	5,1	7,2	0,3	3,0	100,0
TMR6	79,0	5,2	11,6	0,4	3,8	100,0

Fonte: Silva, E. S, 2025.

<sup>1</sup>MS = matéria seca; <sup>2</sup>MN = matéria natural.

As TMRs foram confeccionadas e armazenadas em baldes com capacidade para 7,5 litros. As silagens passaram por um período de fermentação de 45 dias. A palma forrageira utilizada foi a miúda (*Nopalea cochenillifera*) com idade de corte acima de dois anos de idade, cultivada em sistema de adubação orgânica com espaçamentos simples. Como forma de aproveitar os resíduos do cultivo da produção de milho, para fornecimento de fibra das dietas, o sabugo de milho foi utilizado na confecção das TMRs. Após abertura foram coletados materiais para análises de: contagens microbianas de BAL, mofos, LEV, pH e ácidos orgânicos como: AL, AA, ácido propiônico (AP) e ácido butírico (AB).

### 3.3. Análises laboratoriais

#### 3.3.1. Perfil fermentativo das silagens

Para a realização das análises referentes ao perfil fermentativo, quantificação das populações microbianas e de ácidos orgânicos, foram coletadas 25 g de amostras após abertura, onde foram homogeneizadas em 225 mL de solução salina [0,85 g NaCl (Dinâmica®, São Paulo-SP, Brasil) / 100 mL água destilada] em liquidificador industrial (LAR.2, Metvisa®, Brusque-SC, Brasil) durante 1 minuto. O extrato aquoso utilizado foi filtrado em gaze estéril de algodão e dividido em três alíquotas.

A primeira alíquota foi utilizada para mensuração do pH, utilizando-se potenciômetro digital (K39-1420A, Kasvi®, São José dos Pinhais-PR, Brasil). A segunda alíquota do extrato aquoso foi destinada para quantificação das populações microbianas: BAL, LEV e fungos filamentosos. Nessa etapa, foram realizadas diluições seriadas de  $10^1$  a  $10^8$ . Após isso, o plaqueamento foi realizado em placas de Petri estéreis (90 × 15 mm, FirstLab®, São José dos Pinhais-PR, Brasil) pelo método *pour-plate* em meios de cultura (Kung Jr. et al., 2003). O meio de cultura utilizado foi o Ágar De Man, Rogosa & Sharpe (K25-1043, Kasvi®, São José dos Pinhais-PR, Brasil) para o cultivo de BAL (37 °C / 48 horas) e o Ágar Dicloran Rosa Bengala Cloranfenicol (Oxoid™, Hampshire, Inglaterra) para cultivo de LEV (25 °C / 72 horas) e de fungos filamentosos (25 °C / 120 horas). Para a quantificação bacteriana, usou

unidade formadora de colônia (UFC) sendo consideradas as placas contendo entre 25 a 250 UFC.

A terceira alíquota do extrato aquoso foi usada para quantificação dos ácidos orgânicos (AL, AA, AP e AB). Dessa forma, foram utilizados 10 mL do extrato aquoso, em que, foram adicionado em tubos de ensaio com tampa rosqueada (AJ03, PlenaLab®, Jundiaí-SP, Brasil), centrifugados em vórtex (Vortex Mixer VX-200, LabNet®, New Jersey, EUA) e adicionados 2,0 mL de ácido metafosfórico (Neon®, Suzano-SP, Brasil), a solução formada foi centrifugada (Mikro-120, Hettich Zentrifugen®, Tuttlingen, Germany) durante 15 minutos a 13.000 g. Após este processo, o sobrenadante foi coletado acondicionado em tubos microtubos de centrifugação tipo eppendorf (CralPlast®, Cotia-SP, Brasil), que foram selados, identificados e congelados até serem analisados por cromatografia líquida de alta eficiência (Shimadzu, SPD-10AVP) (Siegfried et al., 1984).

#### 3.4. *Análises estatísticas*

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), considerando um delineamento inteiramente casualizado, de acordo com o modelo estatístico:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}$$

Em que:

$Y_{ij}$  é a observação da  $i$ -ésima ração na  $j$ -ésima repetição,  $\mu$  é a média geral,  $\tau_i$  é o efeito do tratamento e  $\epsilon_{ij}$  o erro aleatório, assumido com distribuição normal e variância homogênea.

As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas no programa SAS, sendo os resultados expressos em médias e erro-padrão da média.

#### 4. RESULTADO

Observou-se efeito das rações totais ensiladas sobre o pH ( $P < 0,001$ ). As TMR3 e TMR4 apresentaram os valores mais elevados (4,06 e 4,04, respectivamente), enquanto as TMR5 e TMR6 apresentaram os menores valores (3,60 e 3,67, respectivamente). Não houve efeito das dietas sobre as populações de BAL ( $P = 0,080$ ), LEV ( $P = 0,683$ ) e mofos ( $P = 0,102$ ) (Tabela 2).

Tabela 2 - Quantificação das populações microbianas de bactérias ácidos lácticas (BAL), leveduras (LEV) e mofos (MOFO), expressas em  $\log_{10}$  ufc/g de matéria natural, e valores de pH de dietas totais ensiladas (TMRs) à base de palma forrageira e sabugo de milho

Variáveis	Dietas totais						EPM <sup>1</sup>	P-valor
	TMR1	TMR2	TMR3	TMR4	TMR5	TMR6		
BAL <sup>2</sup>	7,55	6,83	6,87	7,74	7,52	6,53	0,73	0,080
LEV <sup>3</sup>	1,37	0,62	0,00	1,21	1,36	0,68	1,53	0,683
MOFO	0,90	1,41	0,88	3,94	2,05	1,95	1,76	0,102
pH <sup>4</sup>	3,97 ab	3,94 ab	4,06 a	4,04 a	3,60 c	3,67 bc	0,16	0,000

Fonte: Silva, E. S, 2025.

<sup>1</sup>EPM = Erro padrão da média; <sup>2</sup>BAL = Bactéria do ácido láctico; <sup>3</sup>LEV = Leveduras; <sup>4</sup>pH = Potencial hidrogeniônico. Médias seguidas por letras minúsculas distintas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Observou-se efeito das rações totais ensiladas sobre os ácidos orgânicos ( $P \leq 0,001$ ) (Tabela 3). O AA apresentou maiores concentrações nas TMR1 (80,33 g/kg MS) e TMR2 (78,36 g/kg MS), com menores valores nas TMR5 (48,56 g/kg MS) e TMR6 (45,11 g/kg MS). Para o AP, os valores mais elevados foram registrados nas TMR2 (36,95 g/kg MS) e TMR3 (33,33 g/kg MS), enquanto as demais rações apresentaram concentrações inferiores. O AB apresentou maior valor na TMR1 (22,57 g/kg MS) e menores concentrações nas TMR3 (0,16 g/kg MS), TMR5 (0,06 g/kg MS) e TMR6 (0,03 g/kg MS). O AL foi superior na TMR1 (24,95 g/kg MS) e inferior na TMR3 (14,10 g/kg MS).

Tabela 3 - Teores de ácidos orgânicos, expressos em g/kg de matéria seca, de ração totais ensiladas (TMRs) à base de palma forrageira e sabugo de milho

Variáveis	Diets totais						EPM <sup>1</sup>	P-valor
	TMR1	TMR2	TMR3	TMR4	TMR5	TMR6		
AA <sup>b</sup>	80,33 a	78,36 a	65,22 ab	58,16 ab	48,56 b	45,11 b	12,96	0,001
AP <sup>c</sup>	24,36 a	36,95 a	33,33 a	0,42 b	0,24 b	0,25 b	9,50	<0,001
AB <sup>d</sup>	22,57 a	0,87 b	0,16 b	12,26 ab	0,06 b	0,03 b	7,09	<0,001
AL <sup>e</sup>	24,95 a	21,05 ab	14,10 c	19,27 b	22,85 ab	19,37 b	2,00	<0,001

Fonte: Silva, E. S, 2025.

<sup>1</sup>EPM = Erro padrão da média; <sup>2</sup>AA; Ácido acético; <sup>3</sup>AP; Ácido propiônico; <sup>4</sup>AB = Ácido butírico; <sup>5</sup>AL = Ácido láctico. Médias seguidas por letras minúsculas distintas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

## 5. DISCUSSÃO

O uso de ração totais vem ganhando cada vez mais espaço dentro dos sistemas de produção. O presente estudo traz uma abordagem atual e sustentável para os sistemas produtivos, pois, além dos resultados inerentes ao processo de ensilagem da palma forrageira, evidencia-se o aproveitamento de um resíduo agroindustrial, como o sabugo de milho, que poderia ser desperdiçado, agregando valor nutricional e reduzindo impactos ambientais. Nesse contexto, a avaliação do perfil fermentativo torna-se essencial para verificar se essa estratégia mantém qualidade e segurança do alimento conservado. No presente estudo, os valores de pH observados indicaram fermentação eficiente, caracterizada por adequada produção de ácidos orgânicos e inibição de microrganismos indesejáveis, corroborando a descrição de Ávila e Carvalho (2019) sobre a sucessão microbiana ideal durante o processo de ensilagem.

A rápida queda do pH observada nas TMR5 e TMR6 pode estar associada à predominância de BAL, que convertem CHOs em AL, promovendo rápida acidificação. Esse comportamento está em consonância com os achados de Lemos *et al.* (2024), que observaram intensa atividade de BAL na silagem de palma forrageira devido à elevada disponibilidade de CHOs.

Apesar de não haver efeito estatístico sobre BAL, LEV e mofos, as contagens de BAL mantiveram-se em níveis adequados para assegurar estabilidade fermentativa. Segundo Guo *et al.* (2023), a dominância de BAL é determinante para estabelecimento de ambiente anaeróbio estável, reduzindo risco de deterioração.

A ausência de aumento expressivo de LEV e mofos indica controle microbiológico eficiente. Conforme relatado por Ogunade *et al.* (2018) e Martins *et al.* (2024), falhas fermentativas favorecem proliferação fúngica e risco de micotoxinas. Como isso não foi observado de forma significativa, infere-se que o processo fermentativo foi satisfatório.

Os teores de AL variaram entre 14,10 e 24,95 g/kg MS. Segundo Guo *et al.* (2023), o AL é o principal responsável pela redução do pH em silagens bem preservadas. A presença de concentrações expressivas desse ácido confirma fermentação ativa e eficiente, especialmente considerando a elevada concentração de carboidratos não fibrosos da palma, que pode variar entre 423,0 e 728,0 g/kg de MS, conforme discutido por Albuquerque *et al.* (2020).

Os maiores valores de AA foram observados nas TMR1 e TMR2. Considerando que o AA apresenta efeito inibitório sobre fungos e leveduras, sua maior concentração pode contribuir para maior estabilidade aeróbia. Entretanto, ao observar os dados microbiológicos,

nota-se que a TMR3 apresentou melhor controle de fungos e leveduras, sugerindo que não apenas o teor de AA, mas o equilíbrio entre os ácidos orgânicos e o teor de MS da dieta influenciaram a estabilidade microbiológica. De acordo com Ávila e Carvalho (2019), a produção de AA está associada à atividade de bactérias heterofermentativas, podendo melhorar a estabilidade aeróbia da silagem, característica relevante em dietas com palma devido ao alto teor de umidade.

Além disso, Brito *et al.* (2020) observaram que a associação da palma com ingredientes com maior teor de MS pode modificar o perfil fermentativo, favorecendo equilíbrio entre AL e AA.

Os maiores valores de AP nas TMR2 e TMR3 indicam rota fermentativa complementar. Observa-se que, nas rações contendo soja, houve redução nos teores de ácido propiônico, possivelmente em função do aumento da proteína degradável no meio, o que pode alterar o padrão fermentativo e favorecer maior proporção de AA em detrimento do propiônico. A disponibilidade de nitrogênio proveniente da soja pode estimular populações microbianas associadas à fermentação fibrosa, reduzindo a participação relativa das vias produtoras de propionato. Embora produzido em menor proporção em silagens convencionais, o AP apresenta efeito antifúngico, contribuindo para estabilidade pós-abertura, conforme discutido por Weinberg *et al.* (2011).

O AB apresentou baixos valores na maioria das rações, com destaque para a TMR3, TMR5 e TMR6, que apresentaram as menores concentrações. Esse comportamento pode estar relacionado ao maior teor de matéria seca dessas rações, favorecido pela maior inclusão de sabugo, condição que reduz a atividade de clostrídios, microrganismos responsáveis pela produção de AB, uma vez que esses são favorecidos em ambientes com elevada umidade. A TMR4, por sua vez, apresentou valor intermediário de AB, indicando que fatores adicionais além da MS podem ter influenciado o padrão fermentativo. Assim, o maior teor de MS contribui para inibição da fermentação clostrídica e melhoria da qualidade da silagem. Segundo Ávila e Carvalho (2019), concentrações elevadas desse ácido estão associadas à fermentação indesejável e perdas nutricionais.

Ao analisar os dados de forma integrada, observa-se que as rações contendo ureia apresentaram padrão fermentativo distinto em relação às contendo soja, influenciando o perfil de ácidos orgânicos e a dinâmica microbiana. A presença de ureia pode elevar a disponibilidade de nitrogênio não proteico, favorecendo crescimento microbiano e influenciando a produção de AL e AA, enquanto as rações com soja apresentaram menores concentrações de AP. Dessa forma, considerando os parâmetros fermentativos e

microbiológicos, a escolha da melhor TMR deve considerar aquela que apresentou adequado pH, adequada produção de AL, baixos teores de AB e melhor controle de fungos e LEV, oferecendo maior segurança e estabilidade ao produtor.

Antes da condução desta pesquisa, partiu-se da hipótese de que a formulação de TMR à base de palma forrageira associada ao sabugo de milho poderia melhorar o perfil fermentativo da silagem, promovendo adequada produção de ácidos orgânicos, redução eficiente do pH e controle microbiológico. Os resultados confirmaram essa hipótese, evidenciando fermentação satisfatória em todas as rações, com variações significativas nos teores de ácidos orgânicos e no pH, além de estabilidade das populações microbianas. De modo geral, a inclusão do sabugo contribuiu para o ajuste da MS e para o equilíbrio fermentativo das TMRs, reforçando a viabilidade técnica dessa estratégia para sistemas de produção no semiárido.

## 6. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos demonstram que as silagens de ração total misturada elaboradas com palma forrageira associada ao sabugo de milho apresentaram padrão fermentativo satisfatório, evidenciado por valores de pH dentro da faixa considerada ideal, elevada produção de ácido lático e baixas concentrações de ácido butírico, indicando ausência de fermentação clostrídica. Entre os tratamentos avaliados, a TMR6 destacou-se por apresentar menor pH (3,67), reduzido teor de ácido butírico (0,03 g/kg de MS) e adequado equilíbrio entre os ácidos orgânicos, refletindo maior estabilidade fermentativa. Assim, essa formulação mostra-se mais eficiente para o processo de ensilagem, sendo recomendada por proporcionar melhor qualidade fermentativa e maior segurança microbiológica.

## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, I. *et al.* Performance, Body Water Balance, Ingestive Behavior and Blood Metabolites in Goats Fed with Cactus Pear (*Opuntia ficus-indica* L. Miller) Silage Subjected to An Intermittent Water Supply. **Sustainability**, v. 12, n. 7, p. 2881, 4 abr. 2020.
- AVILA, C. L. S.; CARVALHO, B. F. Silage fermentation—updates focusing on the performance of micro-organisms. **Journal of Applied Microbiology**, v. 128, p. 966–984, 2019.
- DUBEUX JR., J. C. B.; SANTOS, M. V. F.; LIRA, M. A.; *et al.* Cactus (*Opuntia* and *Nopalea*) nutritive value and use in ruminant diets. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 46, n. 6, p. 485–493, 2017.
- BRITO, J. M. S.; SANTOS, E. M.; OLIVEIRA, J. S.; *et al.* Silage of forage cactus-based diets for ruminants: fermentation profile and nutritional value. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 49, e20190264, 2020.
- GUO, X. *et al.*, Current approaches on the roles of lactic acid bacteria in crop silage. **Microbial Biotechnology**, v. 16, p. 67–87, 2023.
- LEMOS, M. L. P. *et al.* Bacterial community dynamics of spineless cactus silage during fermentation and aerobic stability. **Bioresource Technology Reports**, v. 25, p. 101762, fev. 2024.
- MARTINS, D. *et al.*, Mycotoxins evaluation of total mixed ration (TMR) in bovine dairy farms: an update. **Heliyon**, v. 10, e25693, 2024.
- MERTENS, D. R. Creating a System for Meeting the Fiber Requirements of Dairy Cows. **Journal of Dairy Science**, v. 80, n. 7, p. 1463–1481, jul. 1997.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). **Nutrient requirements of beef cattle**. 7. ed. Washington, D.C.: National Academy Press, 2000.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). **Nutrient requirements of dairy cattle**. 7. ed. Washington, D.C.: National Academy Press, 2001.
- NOBEL, P. S. Cactus: biology and uses. **Berkeley: University of California Press**, 2001.
- OGUNADE, I. M. *et al.*, Mycotoxins in silage: occurrence, effects, prevention, and mitigation. **Journal of Dairy Science**, v. 101, p. 4034–4059, 2018.
- PEREIRA, D. M. *et al.* Total mixed ration silage based on cactus pear and cottonseed cake in the feeding of feedlot finished lambs. **Tropical Animal Health and Production**, v. 57, n. 2, 6 fev. 2025.

PINHO, R. M. A. et al. Does the level of forage neutral detergent fiber affect the ruminal fermentation, digestibility and feeding behavior of goats fed cactus pear? **Animal Science Journal**, v. 89, n. 10, p. 1424–1431, 23 jul. 2018.

SANTOS, E. M.; OLIVEIRA, J. S.; ZANINE, A. M.; *et al.* Palma forrageira na alimentação de ruminantes no semiárido brasileiro. **Archivos de Zootecnia**, v. 67, p. 450–458, 2018.

WEINBERG, Z. G. *et al.*, Preservation of total mixed rations for dairy cows in bales wrapped with polyethylene stretch film – a commercial scale experiment. **Animal Feed Science and Technology**, v. 164, p. 125–129, 2011.

YANTI, Y.; KAWAI, S.; YAYOTA, M. Effect of total mixed ration silage containing agricultural by-products with the fermented juice of epiphytic lactic acid bacteria on rumen fermentation and nitrogen balance in ewes. **Tropical Animal Health and Production**, v. 51, p. 1141–1149, 2019.