



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ  
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CAMPUS PROFESSORA CINOBELINA ELVAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA TROPICAL

**JAILSON PENHA COSTA**

**CARACTERÍSTICAS FERMENTATIVAS E VALOR NUTRITIVO DA  
SILAGEM DE CAPIM-ELEFANTE COM ADIÇÃO DE ORA-PRO-NÓBIS**

Teresina - PI

2025

**JAILSON PENHA COSTA**

**CARACTERÍSTICAS FERMENTATIVAS E VALOR NUTRITIVO DA  
SILAGEM DE CAPIM-ELEFANTE COM ADIÇÃO DE ORA-PRO-NÓBIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia Tropical (PPGZT) da Universidade Federal do Piauí (UFPI), na área de concentração Produção Animal nos Trópicos, Linha de pesquisa Produção de Alimentos e Nutrição Animal nos Trópicos, como requisito para obtenção do Título de Mestre em Zootecnia Tropical.

Orientador: Prof. Dr. Arnaud Azevêdo  
Alves

Teresina - PI  
2025

FICHA CATALOGRÁFICA  
Universidade Federal do Piauí  
Biblioteca Setorial CCA  
Serviço de Representação Temática da Informação

C837c Costa, Jailson Penha.  
Características fermentativas e valor nutritivo da silagem e capim-elefante com adição de ora-pro-nóbis. / Jailson Penha Costa -- 2025.  
73 f.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia Tropical, 2025.

“Orientador: Prof. Dr. Arnaud Azevêdo Alves.”

1. Ácidos orgânicos. 2. Aditivo para silagem. 3. Cactácea. 4. Estabilidade aeróbia. 5. *Pereskia aculeata* Miller I. Alves, Arnaud Azevêdo. II. Título.

CDD 633.21

**JAILSON PENHA COSTA**

**CARACTERÍSTICAS FERMENTATIVAS E VALOR NUTRITIVO DA  
SILAGEM DE CAPIM-ELEFANTE COM ADIÇÃO DE ORA-PRO-NÓBIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia Tropical (PPGZT) da Universidade Federal do Piauí (UFPI), na área de concentração Produção Animal nos Trópicos, Linha de pesquisa Produção de Alimentos e Nutrição Animal nos Trópicos, como requisito para obtenção do Título de Mestre em Zootecnia Tropical.

Orientador: Prof. Dr. Arnaud Azevêdo Alves

BANCA EXAMINADORA:

---

**Prof. Dr. Arnaud Azevêdo Alves (Presidente) / DZO/CCA/UFPI**

---

**Prof. Dr. Miguel Arcanjo Moreira Filho (Interno) / CPCE/UFPI**

---

**Prof. Dr. Wanderson Fiares de Carvalho (Externo) / IFPI**

Teresina - PI

2025

Dedico aos que se foram, mas seguem presentes em minha história:

Ao meu querido tio Flaviano Costa, cuja força e bondade ainda me guiam; À minha amada avó Maria Mota Penha (Fifilha), mulher de coragem e ternura, que me ensinou o valor da família; E ao meu sobrinho-primo Werbert (Werbinho), companheiro de risadas e lembranças felizes, cuja amizade e alegria contagiantes jamais serão esquecidas.

Que esta jornada acadêmica honre a memória de cada um e celebre o amor que nos une, além do tempo.

*"A saudade é o preço do amor que não se perde."*

## AGRADECIMENTO

AO SENHOR DEUS, por ser tudo em minha vida, meu Salvador, o Deus em quem posso confiar, que está sempre ao meu lado e nunca me deixará. Pelo dom da vida, por todas as lutas e vitórias, por ser o AUTOR e consumidor da minha fé.

À minha amada esposa, Danicleide Serra Santos Costa (Danny), por todo o companheirismo e amor, por ter estado ao meu lado nesta jornada, apoiando-me em cada momento.

Aos meus pais, Antônio Neves Costa e Ana Célia Mota Penha, por sempre acreditarem em mim, pelo apoio, força, incentivo, amor e orações.

Aos meus irmãos, Wenison e Bruna, por sempre estarem ao meu lado.

À Universidade Federal do Piauí (UFPI), por me permitir desenvolver este estudo.

Ao Prof. Dr. Arnaud Azevêdo Alves, pela orientação, ensinamentos, estímulo e, principalmente, pela perseverança, sem a qual não teria sido possível realizar e concluir este estudo.

Aos professores Dr. Miguel Arcanjo Moreira Filho e Dr. Wanderson Fiares de Carvalho, pela contribuição para a realização desta pesquisa.

Ao Instituto Federal do Maranhão (IFMA), Campus Caxias, por fornecer toda a estrutura logística necessária para o desenvolvimento do experimento.

Aos professores doutores Marco Túlio Costa Almeida e Ricardo Loiola Edvan, pela ajuda e disponibilidade sempre que precisei.

Aos meus tios: João, Francisco, Cecílio, Célia, Celina, Raimunda, Paulina, Maria José (Dedê), Alcídia Maria, José Filho, Margarida (Nen) e Rosilene.

Aos integrantes do Grupo de Extensão em Forragicultura do Piauí (GEFORPI), em especial à Dra. Shirlenne Ferreira Silva.

A Wesleyson Cristian, pelo auxílio em diversas etapas deste estudo.

Aos meus amigos de Pós-graduação: Andres, Érica, Ewerton, Francisca Leila, Gabriela Iantorno, Gleice, Hêmyle, João Paulo, Larisse, Lifranc Laurent, Lucas, Marislane e Samila.

Porque desde a antiguidade não se ouviu,  
nem com ouvidos se percebeu, nem com  
os olhos se viu um Deus além de ti que  
trabalha para aquele que nele espera.

Isaías 64:4

## RESUMO

As regiões tropicais apresentam grande quantidade de espécies forrageiras com elevado potencial para a produção de forragem, entretanto ocorre declínio na qualidade e quantidade de nutrientes durante a época seca, tornando-se insuficiente para atender as demandas dos animais, desta forma, a silagem surge como alternativa para suprir esta demanda de nutriente. Assim, a cactácea *Pereskia aculeata* Miller, conhecida popularmente como ora-pro-nóbis surge como potencial aditivo natural, pois apresenta em sua composição elevado teor de proteína além de compostos bioativos que pode agregar na qualidade do material ensilado. Objetivou-se com esta pesquisa avaliar as características fermentativas, estabilidade aeróbica e valor nutritivo da silagem da forragem de capim-elefante BRS Capiaçú com adição da cactácea ora-pro-nóbis. Esta pesquisa foi desenvolvida no Instituto Federal do Maranhão (IFMA), Campus Caxias. Adotou-se o delineamento inteiramente casualizado com cinco tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos consistiram na silagem exclusiva de capim elefante e inclusão de 10%, 20%; 30% e 40% de ora-pro-nóbis à silagem, com base na matéria natural. A forragem de capim-elefante BRS Capiaçú foi colhida a 20 cm do solo, aos 110 dias pós-rebrota, com altura média de 3,5 a 4,0 m. A ora-pro-nóbis foi colhida aos 8 meses após o corte de uniformização. As forragens foram picadas a partículas de 2 cm. Os minissilos foram confeccionados em baldes com 18 cm de comprimento e 16,5 cm de diâmetro, com 1,0 kg de areia lavada na parte inferior para reter os efluentes e válvula de Bunsen na parte superior. A forragem foi compactada à densidade de 600 kg/m<sup>3</sup>. Os silos foram abertos 120 dias após a ensilagem. O teor de PB aumentou linearmente ( $P < 0,05$ ) e a FDA reduziu linearmente ( $P < 0,05$ ) com a adição da ora-pro-nóbis à silagem. Os teores de cinza e FDNcp apresentaram efeito quadrático ( $P < 0,05$ ), com maiores teores quando da inclusão de 30 e 0% de ora-pro-nóbis, respectivamente. A adição de ora-pro-nóbis às silagens resultou em efeito quadrático ( $P < 0,05$ ) quanto às perdas de gases (PG), efluentes (PE) e matéria seca (PMS) das silagens, com menores perdas quando da adição de 20% de ora-pro-nóbis. As silagens com adição de 10 e 20% de ora-pro-nóbis atingiram a temperatura máxima (Tmax) em 42 e 38 h, respectivamente, indicando menor estabilidade. O pH apresentou um efeito linear crescente ( $P < 0,05$ ) e a concentração de N-NH<sub>3</sub> apresentaram efeito quadrático ( $P < 0,05$ ). A adição de ora-pro-nóbis não influenciou ( $P > 0,05$ ) as frações de carboidratos solúveis e de rápida degradação (A+B1), o pH mostrou-se mais estável quando da adição de 30% a 40% de ora-pro-nóbis. A concentração de ácido lático não foi influenciada pela adição de ora-pro-nóbis ( $P > 0,05$ ). Em relação aos compostos nitrogenados, a adição de ora-pro-nóbis não influenciou ( $P > 0,05$ ) as frações A, B1+B2 e B3, mas houve efeito quadrático ( $P < 0,05$ ) na fração C, com ponto máximo de 10,92%. A digestibilidade *in vitro* da proteína bruta (DIPB) aumentou linearmente ( $P < 0,05$ ) com a adição de ora-pro-nóbis, indicando maior disponibilidade de nutrientes para os ruminantes. A população de bactérias ácido lácticas (BAL) reduziu linearmente ( $P < 0,05$ ) com o aumento da proporção de ora-pro-nóbis, enquanto a população de leveduras apresentou uma redução linear significativa ( $P < 0,05$ ). O nível 30% de inclusão, apresentou melhor equilíbrio entre a qualidade fermentativa, estabilidade aeróbica e valor nutritivo da silagem.

**Palavras-chave:** Ácidos orgânicos. Aditivo para silagem. Cactácea. Estabilidade aeróbia. *Pereskia aculeata* Miller

## ABSTRACT

Tropical regions have a large number of forage species with high potential for forage production. However, there is a decline in the quality and quantity of nutrients during the dry season, becoming insufficient to meet the demands of animals. Thus, silage emerges as an alternative to meet this nutrient demand. Thus, the cactus *Pereskia aculeata* Miller, popularly known as ora-pro-nóbis, appears as a potential natural additive, as it has a high protein content in its composition in addition to bioactive compounds that can add to the quality of the ensiled material. The objective of this research was to evaluate the fermentation characteristics, aerobic stability and nutritional value of silage from BRS Capiaçú elephant grass forage with the addition of the cactus ora-pro-nóbis. This research was developed at the Instituto Federal do Maranhão (IFMA), Caxias Campus. A completely randomized design with five treatments and four replicates was adopted. The treatments consisted of exclusive elephant grass silage and inclusion of 10%, 20%, 30% and 40% of ora-pro-nobis to the silage, based on the natural matter. The BRS Capiaçú elephant grass forage was harvested 20 cm from the ground, at 110 days post-regrowth, with an average height of 3.5 to 4.0 m. The ora-pro-nobis was harvested 8 months after the standardization cut. The forage was chopped into 2 cm particles. The mini-silos were made in buckets measuring 18 cm in length and 16.5 cm in diameter, with 1.0 kg of washed sand in the bottom to retain the effluents and a Bunsen valve in the top. The forage was compacted to a density of 600 kg/m<sup>3</sup>. The silos were opened 120 days after ensiling. The CP content increased linearly ( $P < 0.05$ ) and the ADF decreased linearly ( $P < 0.05$ ) with the addition of ora-pro-nóbis to the silage. The ash and NDF<sub>cp</sub> contents showed a quadratic effect ( $P < 0.05$ ), with higher contents when 30 and 0% of ora-pro-nóbis were included, respectively. The addition of ora-pro-nóbis to the silages resulted in a quadratic effect ( $P < 0.05$ ) regarding the gas losses (PG), effluents (PE) and dry matter (DMA) of the silages, with lower losses when 20% of ora-pro-nóbis were added. The silages with the addition of 10 and 20% of ora-pro-nóbis reached the maximum temperature (T<sub>max</sub>) in 42 and 38 h, respectively, indicating lower stability. The pH showed an increasing linear effect ( $P < 0.05$ ) and the N-NH<sub>3</sub> concentration showed a quadratic effect ( $P < 0.05$ ). The addition of ora-pro-nóbis did not influence ( $P > 0.05$ ) the fractions of soluble and rapidly degrading carbohydrates (A+B<sub>1</sub>), the pH was more stable when 30% to 40% of ora-pro-nóbis was added. The lactic acid concentration was not influenced by the addition of ora-pro-nóbis ( $P > 0.05$ ). Regarding nitrogen compounds, the addition of ora-pro-nóbis did not influence ( $P > 0.05$ ) the fractions A, B<sub>1</sub>+B<sub>2</sub> and B<sub>3</sub>, but there was a quadratic effect ( $P < 0.05$ ) in fraction C, with a maximum point of 10.92%. The in vitro digestibility of crude protein (IVCD) increased linearly ( $P < 0.05$ ) with the addition of ora-pro-nobis, indicating greater nutrient availability for ruminants. The population of lactic acid bacteria (LAB) decreased linearly ( $P < 0.05$ ) with the increase in the proportion of ora-pro-nobis, while the yeast population showed a significant linear reduction ( $P < 0.05$ ). The 30% inclusion level showed a better balance between fermentation quality, aerobic stability and nutritional value of the silage.

**Keywords:** Aerobic stability. Cactus. Organic acids. *Pereskia aculeata* Miller. Silage additive

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. pH da silagem exclusiva de capim-elefante BRS capiaçu (0 %) e com adição de ora-pro-nóbis associado à estabilidade aeróbica.....	70
--	----

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Composição química da ora-pro-nóbis e variedades de palma forrageira.....	16
Tabela 2 Composição química da forragem de capim-elefante BRS capiaçu e ora-pro-nóbis. ....	64
Tabela 3 Composição química e digestibilidade in vitro das silagens exclusiva de capim-elefante BRS capiaçu e com adição ora-pro-nóbis.....	65
Tabela 4 Frações de carboidratos e compostos nitrogenados das silagens exclusiva de capim-elefante BRS capiaçu e com adição ora-pro-nóbis.....	66
Tabela 5 Perda fermentativa e estabilidade aeróbica das silagens exclusiva de capim-elefante BRS capiaçu e com adição ora-pro-nóbis.....	67
Tabela 6 Perfil fermentativo das silagens exclusiva de capim-elefante BRS capiaçu com adição de ora-pro-nóbis. ....	68
Tabela 7 Ácido orgânicos e população microbiana das silagens exclusiva de capim-elefante BRS capiaçu e com adição ora-pro-nóbis.....	69

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>10</b>
<b>2. CAPÍTULO I. Referencial Teórico .....</b>	<b>12</b>
1.1. Potencial da forragem de capim-elefante ( <i>Pennisetum purpureum</i> Schum.) para ensilagem .....	13
1.2. Características nutricionais da ora-pro-nóbis ( <i>Pereskia aculeata</i> Miller) para alimentação animal .....	14
1.3. Características fermentativas e microbiológicas de silagens com adição de cactáceas .....	16
1.4. Valor nutritivo de silagem de gramínea com adição de cactáceas .....	18
<b>REFERÊNCIAS DA INTRODUÇÃO GERAL E DO REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>20</b>
<b>2. CAPÍTULO II - Características Fermentativas e Valor Nutritivo da Silagem de Capim-elefante com Adição de Ora-Pro-Nóbis .....</b>	<b>27</b>
*Correspondência do autor: e-mail: jailson.costa@ifma.edu.br .....	28
<b>Resumo .....</b>	<b>29</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>31</b>
<b>2. METODOLOGIA.....</b>	<b>32</b>
<b>3. RESULTADOS .....</b>	<b>37</b>
<b>4. DISCUSSÃO .....</b>	<b>39</b>
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>49</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>49</b>

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

As regiões tropicais possuem uma grande diversidade de espécies forrageiras com elevado potencial para a produção de forragem, no entanto, durante a estação seca, ocorre declínio na qualidade nutricional e na disponibilidade da biomassa tornando-as insuficientes para atender às demandas nutricionais dos animais (Campos *et al.*, 2017), assim, a silagem surge como uma alternativa viável para suprir a deficiência de nutriente, como também garantir a disponibilidade de matéria seca durante todo o ano (Araújo *et al.*, 2020; Li *et al.*, 2019).

Dentre as forrageiras tropicais, o capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) destaca-se pela alta produtividade de biomassa e resistência às condições adversas. No entanto, o elevado teor de umidade (>70%) dessa gramínea, pode comprometer o processo fermentativo da ensilagem (Pereira *et al.*, 2021). O uso de aditivos torna-se necessário para proporcionar um processo fermentativo adequado (Garcez Neto *et al.*, 2021).

Nesse sentido, a cactácea *Pereskia aculeata* Miller, conhecida popularmente como ora-pro-nóbis, emerge como um possível aditivo natural, devido ao seu elevado teor proteico (20 %) (Santos *et al.*, 2022), presença de mucilagem (Lise *et al.*, 2021), que atua como agente absorvente devido sua ação hidrofílica e que em contato com água gelificam (Goff; Guo, 2019) reduzindo a umidade livre, além de possuir propriedades antimicrobianas que podem inibir o crescimento de microrganismos indesejáveis durante o processo de ensilagem (Garcia *et al.*, 2019; Hoff *et al.*, 2022).

Portanto, a associação da ora-pro-nóbis como aditivo em silagem de capim-elefante pode ser uma alternativa para melhorar o valor nutritivo e as características fermentativas do material ensilado.

Desta forma, objetivou-se avaliar as características fermentativas, estabilidade aeróbica e valor nutritivo da silagem da forragem de capim-elefante BRS Capiacu com adição da cactácea ora-pro-nóbis.

Essa Dissertação está estruturada em duas partes: Parte I, consiste da Introdução Geral e do Capítulo I - Referencial Teórico, redigidos segundo as normas editoriais do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia Tropical da Universidade Federal do Piauí; e Parte II, referente ao Capítulo II, na forma de artigo científico, de título “Características Fermentativas e Valor Nutritivo da Silagem de Capim-elefante com Adição de Ora-Pro-Nóbis”, redigido de acordo com as normas editoriais do periódico científico *Animal Feed Science and Technology*, ao qual será submetido à publicação, exceto o idioma.

**2. CAPÍTULO I. Referencial Teórico**

### 1.1. Potencial da forragem de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) para ensilagem

O capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) é uma gramínea de origem africana (Johannes; Minh; Xuan, 2024), distribuiu-se em toda as regiões tropicais e subtropicais com relevância mundial no que tange à alimentação animal (Pereira *et al.*, 2021). Dentre suas cultivares, a BRS capiaçu destaca-se pela perenidade, resistência ao tombamento, folhas largas, colmo denso, ausência de joçal, além de alta produtividade, em média 49,8 t de matéria seca (MS)/ha/ano (Pereira *et al.*, 2017), tais características conferem a cultivar BRS capiaçu com alternativa para produção de silagem, embora seu uso direto como volumoso picado também é viável.

A transformação do capim-elefante em silagem de qualidade constitui um processo complexo, influenciada diretamente pelo teor de MS e de carboidratos solúveis (CHOs), que atuam de forma complementar no processo fermentativo (Sánchez-Guerra *et al.*, 2024).

Teores de MS entre 30 a 35% são considerados ideais, pois garantem uma fermentação adequada e preservam o valor nutricional do material ensilado (McDonald *et al.*, 1991). Níveis de MS acima destes valores podem influenciar negativamente na compactação permitindo a presença de oxigênio (Chernyuk *et al.*, 2019) e a baixo deste intervalo apontam excesso de umidade, o que comprometem o processo fermentativo, resultando em perdas nutricionais e maior produção de efluentes como também causam fermentação indesejável (Kung Jr *et al.*, 2018).

Simultaneamente, a presença de CHOs em concentrações adequadas (6 a 16%) (Limar Junior, 2014), são fundamentais para garantir níveis suficiente de ácido lático pelas bactérias fermentativas, para conferir a acidificação do meio de forma eficaz e conseqüentemente na inibição de microrganismos indesejáveis, (Ávila *et al.*, 2006) como *Clostridium* e enterobactérias (Queiroz *et al.*, 2018).

A cultivar BRS Capiaçu apresentar melhor desempenho quando cortada entre 90 e 110 dias pós-rebrota (Alves *et al.*, 2022), momento em que a planta apresenta, em média, 18% de matéria seca (MS), 8,18% de proteína bruta (PB) e 13,76% de

carboidratos não fibrosos (Monção *et al.*, 2020). Entretanto esses valores ficam abaixo do ideal para ensilagem, tornando-se necessário utilizar aditivos para contornar essas limitações e otimizar o processo fermentativo (Desta *et al.*, 2016).

Neste sentido, a utilização de aditivos surge como possível solução para essas limitações. Os aditivos podem ser classificados em químicos que tem como características a reduzir rapidamente o pH ou inibir a atividade microbiana (Auerbach; Nadeau, 2019), e aditivos biológicos que possuem como mecanismo da ação controlar a fermentação através de microrganismo (Okoye *et al.*, 2023).

A correta aplicação desses aditivos possibilita contornar os entraves naturais do capim-elfante, contribuir para uma maior eficácia na fermentação (Oladosu *et al.*, 2016), controle de microrganismos indesejáveis (Queiroz *et al.*, 2018), melhoria do valor nutritivo (Moselhy; Borba; Borba, 2015), redução de perdas de matéria seca e estabilidade aeróbia (Da Silva *et al.*, 2015). Neste contexto a ora-pro-nóbis pode ser incluída como aditivo biológico, pois apresenta em sua composição princípios ativos que podem contribuir para uma fermentação adequada.

## 1.2. Características nutricionais da ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata* Miller) para alimentação animal

A ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata* Miller) é também conhecida comumente como palma-de-folha, groselha-de-barbados, lobroró (Garcia *et al.*, 2019), entre outros. É uma planta da família *Cactaceae* (Silva *et al.*, 2017), pertencente à classe *Magnoliopsida* e ordem *Caryophyllales* (Zem *et al.*, 2017), com distribuição geográfica na faixa tropical dos continentes americano e africano (Silva *et al.*, 2023). Possui comportamento de liana, com hábito de crescimento escandente, com folhas suculentas e curtas (Pinto *et al.*, 2016), podendo atingir 10 metros de altura (Almeida *et al.*, 2014). Apesar de pertencer à família das cactáceas a ora-pro-nóbis se distingue das cactáceas tradicionais, devido apresentar folhas bem desenvolvidas (Porto *et al.*, 2022).

A cactácea ora-pro-nóbis apresenta potencial de utilização como cicatrizante (Pinto *et al.*, 2015), filme biodegradável para embalagem (Oliveira *et al.*, 2019),

potencial tecnológico como emulsificante (Lise *et al.*, 2021). Merece destaque a utilização da ora-pro-nóbis pelas indústrias farmacêutica e alimentícia (Amaral *et al.*, 2018).

A ora-pro-nóbis apresenta composição química com elevados teores de PB, carboidratos, fibra, vitaminas e minerais, além de ser atóxica e possuir elevado teor de mucilagem (Barbalho *et al.*, 2016; Barreira *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2019). Assim constitui fonte alternativa de alimento, devido ao seu potencial nutritivo, para alimentação humana e animal (Porto *et al.*, 2022).

As folhas de ora-pro-nóbis apresentam composição química com 87,1% de umidade; 4,0% de lipídio, 28,0% de proteína e 67,0 de carboidratos (Oliveira *et al.*, 2019), 29,0% PB, 5,1% de lipídio, 14,8% de cinza e 29,5% de carboidratos (Almeida *et al.*, 2014), 51,0 mg de fibra 100g<sup>-1</sup> (Silveira *et al.*, 2020), 25,0% PB e 5% de lipídio, além de serem ricas em diversos minerais, como ferro, zinco cálcio (Lira *et al.*, 2023).

A composição mineral, as folhas de ora-pro-nóbis apresentam teores dos macroelementos Ca, P, Mg e K correspondentes a 31,25±13,65; 3,17±1,88; 8,05±1,77; 40,85±4,88 g kg<sup>-1</sup> e dos microelementos Fe e Zn, 0,15±0,08 e 0,03±0,04 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente (Oliveira *et al.*, 2013; Silveira *et al.*, 2020).

Quanto ao perfil de aminoácidos, as folhas de ora-pro-nóbis apresentam leucina 69 mg g<sup>-1</sup>, lisina 53,0 mg g<sup>-1</sup>, valina 47,0 mg g<sup>-1</sup>, isoleucina 37,1 mg g<sup>-1</sup>, treonina 30,0 mg g<sup>-1</sup> e triptofano 21,1 mg g<sup>-1</sup> (Silveira *et al.*, 2020).

A ora-pro-nóbis apresenta composição química semelhante a cactáceas convencionalmente utilizadas na alimentação de ruminantes, com destaque para maior teor de PB e cinza (Tabela 1).

Entre as principais potencialidade da ora-pro-nóbis como aditivo em silagem, destaca-se sua composição nutricional (Tabela 1) com ênfase para o teor de PB, que pode conferir um maior valor nutricional a silagem.

Outro aspecto relevante são os composto bioativos, substâncias naturais (como taninos, fenóis e flavonoides), que reduzem as perdas oxidativas, contribuir para inibir os microrganismos indesejáveis (Hoff *et al.*, 2022) e conseqüentemente melhorando a estabilidade aeróbica da silagem.

Tabela 1 Composição química da ora-pro-nóbis e variedades de palma forrageira

Parâmetros	Ora-pro-nóbis, folhas <sup>1</sup>	Palma forrageira, cladódios		
		Gigante <sup>2</sup>	Miúda <sup>3</sup>	OEM <sup>3</sup>
Matéria seca (g kg <sup>-1</sup> MN)	99,4±2,8	166,8	112,0	138,0
g kg <sup>-1</sup> MS				
Proteína bruta	258,4±3,4	43,4	58,0	46,0
Extrato etéreo	51,7±1,8	0,4	19,0	20,0
Cinza	149,5±2,2	101,6	102,0	82,0

MN = Matéria Natural; OEM = Orelha-de-elefante mexicana.

Fontes: <sup>1</sup>Almeida *et al.* (2014); <sup>1</sup>Barbalho *et al.* (2016); <sup>1</sup>Maciel *et al.* (2021); <sup>1</sup>Takeiti *et al.* (2009); <sup>2</sup>Brito *et al.* (2020); <sup>3</sup>Araujo *et al.* (2023).

### 1.3. Características fermentativas e microbiológicas de silagens com adição de cactáceas

Silagem é o produto da conservação de forragem úmida como também de grãos, por meio de fermentação anaeróbica. O processo de ensilagem tem por finalidade a disposição de forragem ao longo do ano com excelente valor nutritivo para os animais (Dunière *et al.*, 2013). Entretanto, é necessária atenção durante a ensilagem, pois devido ao estágio fenológico das gramíneas, quando apresentam maior acúmulo de biomassa, são verificados alguns entraves, como baixo teor de MS e baixa concentração de carboidratos solúveis, os quais comprometem o processo fermentativo (Cordeiro *et al.*, 2023; Sá *et al.*, 2023). Assim, a capacidade fermentativa da silagem é avaliada pelos fatores pH, proporção de carboidratos solúveis, ausência de oxigênio, amônia e concentração de ácidos orgânicos (Queiroz *et al.*, 2021; Kung Jr *et al.*, 2018).

As condições da forragem ensilada são determinantes do desenvolvimento dos microrganismos, tais como a anaerobiose, o teor de MS e o pH (Santos *et al.*, 2020). A anaerobiose é uma das exigências para ótima fermentação, devido favorecer o rápido desenvolvimento das bactérias ácidos lácticas (BALs) e a rápida redução do pH (Muck *et al.*, 2018). A mucilagem das cactáceas atua como agregador das partículas da massa

ensilada e facilita a compactação, o que contribui para a redução de oxigênio no interior do silo (Rodrigues *et al.*, 2023).

Quando a ensilagem é bem executada, os valores de pH podem variar de 3,8 a 4,2, visando bloqueio da atividade microbiana indesejável na massa ensilada (Rabelo *et al.*, 2017). Quando a concentração de N-NH<sub>3</sub> é inferior a 10%, há o indício de adequado processo fermentativo, enquanto valores superiores são indicativos da presença de microrganismos indesejáveis (Babaenasab *et al.*, 2015).

Os microrganismos que participam do processo de ensilagem estão presentes nas plantas antes do processo de ensilagem (McDonald *et al.*, 1991). Dentre eles, destacam-se as bactérias ácidos lácticas (BALs) dos gêneros *Lactobacillus*, *Pediococcus* e *Lactococcus*, as quais contribuem para uma boa fermentação. As BALs, a partir da fermentação do substrato carboidratos solúveis, produzem ácido láctico para redução do pH a níveis adequados para a conservação das forragens e produção de silagem de qualidade (Wang *et al.*, 2016). Diversas BALs são obrigatoriamente homofermentativas e podem produzir mais de 90% do ácido láctico (Dunière *et al.*, 2013).

A palma forrageira possui elevado teor de carboidratos solúveis, o que possibilita a rápida fermentação pelas BALs, com redução do pH e inibição do desenvolvimento de microrganismos indesejáveis, além de apresentarem a presença de mucilagem, com propriedade osmótica (Brito *et al.*, 2020), que contribui para a redução de perdas por efluentes durante o processo de ensilagem (Nogueira *et al.*, 2019). O processo fermentativo da silagem de palma é controlado pelas BALs, o que contribui para a rápida redução do pH em torno de 4,0 (Albuquerque *et al.*, 2020). Apesar do potencial nutricional, o uso de cactáceas na ensilagem apresenta entraves, como baixo teor de MS (Araújo *et al.*, 2023), excesso de CHOS (Pereira *et al.*, 2019) a presença de compostos antinutricionais, como oxalatos em *Opuntia* spp. (Lopes *et al.*, 2019).

Quando o processo de ensilagem é inadequado, há favorecimento de microrganismos indesejáveis, como bactérias do gênero *Clostridium*, fungos e leveduras, que comprometem a qualidade da silagem e produzem diversos tipos de micotoxinas capazes de acarretar distúrbios à saúde animal (Amaral *et al.*, 2020). As bactérias do gênero *Clostridium* utilizam o mesmo substrato que as BALs, mas

produzem ácido butírico e CO<sub>2</sub>, compostos que não contribuem para redução do pH e comprometem a conservação da forragem (Queiroz *et al.*, 2018). Os *Clostridium* podem também fermentar compostos nitrogenados, formando produtos como putrescina e cadaverina, o que resulta em odor fétido na silagem e redução do consumo pelos animais (Fijałkowska *et al.*, 2015; Scherer; Gerlach; Südekum, 2015).

As leveduras realizam fermentação alcoólica ao utilizarem açúcares e ácido láctico (Borreani *et al.*, 2018). Estes microrganismos se desenvolvem sob condições de anaerobiose e aerobiose, destacando-se que, após a abertura do silo, as leveduras que atuam na presença de oxigênio podem utilizar o ácido láctico e elevar o pH (Nogueira *et al.*, 2019). Isso contribui para o surgimento de fungos, principalmente os dos gêneros *Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium*, que convertem carboidratos solúveis em micotoxinas (Driehuis *et al.*, 2018).

A introdução de palma forrageira na silagem de ração total contribui para a fermentação láctica e acética, o que resulta em melhor perfil fermentativo, uma vez que o ácido acético inibe o desenvolvimento de leveduras e desempenha importante ação para a manutenção da estabilidade aeróbica da silagem (Santos *et al.*, 2020). Ressalta-se que ao contrário da palma forrageira, os estudos sobre a dinâmica dos microbianos e a viabilidade da silagem de -ora-pro-nóbis ainda são escassos.

#### 1.4. Valor nutritivo de silagem de gramínea com adição de cactáceas

O valor nutritivo de um alimento pode ser compreendido por sua composição química, consumo, digestibilidade e eficiência energética (Van Soest, 1994). O conhecimento das frações de carboidratos e compostos nitrogenados é importante para o entendimento dos mecanismos dos processos digestivos, principalmente os relacionados a fermentação e absorção dos nutrientes (Higgs *et al.*, 2015), devido a relação intrínseca destes processos com a simbiose dos microrganismos do rúmen e o hospedeiro visando o aproveitamento dos nutrientes dos alimentos pelos ruminantes (Bath *et al.*, 2013).

Os carboidratos (CHO) fornecem grande parte da energia utilizada pelos ruminantes, sua fermentação resulta em ácido graxo de cadeia curta, todavia esse

processo fermentativo é influenciado pelas características dos CHO (Oba; Kammer-Main, 2023).

Neste contexto, de acordo com a função exercida nas plantas os CHO são categorizados em estruturais (CE) e não estruturais (CNE), os CE compreendem os componentes da parede celular: celulose, hemicelulose e pectina, os CNE como: açúcares e amido que compõem o conteúdo celular (Setiasih *et al.*, 2023). Em termos nutricionais os CHO são classificados em fibrosos (CF) e não-fibrosos (CNF), neste modelo de classificação os CNF constituem as frações que são rapidamente degradados no rúmen (Berchielli; Pires; Oliveira, 2011).

Os carboidratos vegetais podem ser divididos em três frações: a fração A, corresponde aos carboidratos do conteúdo celular, solúveis em água, como frutanas e açúcares; a fração B, subdividida em B1, que corresponde aos carboidratos do conteúdo celular na forma de amido, a fração B2 compreende a pectina e *b*-glucanos, a fração B3 está relacionado à FDN degradável, enquanto a fração C corresponde à FDN indegradável (NASEM, 2016).

A proteína bruta é caracterizada de acordo com a degradabilidade ruminal em proteína degradável no rúmen (PDR) e proteína não degradável no rúmen (PNDR) (Das *et al.*, 2014), enquanto os compostos nitrogenados podem ser fracionados em fração A, caracterizada pelo nitrogênio solúvel, instantaneamente disponível; fração B, a proteína potencialmente disponível; e fração C, compostos nitrogenados não disponíveis (NASEM, 2016).

A digestibilidade *in vitro* é técnica utilizada para avaliar a qualidade dos alimentos (Zewdie, 2019), esse método consiste em simular as atividades ruminais, tendo como principal finalidade estimar a eficiência da degradação dos nutrientes (Mpemba; Laswai; Kimambo, 2018).

A degradabilidade é afetada por diversos aspectos tais como: tempo de retenção ruminal, composição do alimento, microbiota ruminal entre outros (Millen, 2023). Alimentos que apresentam em sua composição maior teor de lignina evidenciam uma menor taxa de degradação, ao mesmo tempo que alimentos com maiores concentrações de carboidratos solúveis são fermentados mais rapidamente (Rodrigues *et al.*, 2004).

A técnica de digestibilidade *in vitro* proposta por Tilley e Terry (1963) é muito adotada por apresentar como vantagens o baixo custo e acurácia dos resultados, além de garantir maior controle experimental e demandar poucos animais fistulados (Vargas *et al.*, 2023).

A degradação ruminal está diretamente relacionado a flora ruminal, essa população de microrganismo é composta por bactérias, protozoários, fungos e suas concentrações variam de acordo com a alimentação, relação volumoso e concentrado, sendo que cada tipo de microrganismo possui uma atuação distinta como por exemplo as bactérias celulolíticas degradam a celulose já as bactérias aminolíticas agem sobre o amido (Berchielli; Pires; Oliveira, 2011).

## REFERÊNCIAS DA INTRODUÇÃO GERAL E DO REFERENCIAL TEÓRICO

- 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, 2020.
- ALMEIDA, M. E. F. *et al.* Chemical characterization of the non-conventional vegetable known as ora-pro-nobis. **Bioscience Journal**, v. 30, suppl. 3, p. 431-439, 2014.
- ALVES, J. P. *et al.* Forage production and quality of BRS Capiaçú as a response of cutting age and nitrogen application. **Tropical Animal Science Journal**, v. 45, n. 2, p. 179-186, 2022.
- AMARAL, R. C. *et al.* Novel lactic acid bacteria strains enhance the conservation of elephant grass silage cv. BRS Capiaçú. **Animal Feed Science and Technology**, v. 264, p. 114472, 2020.
- AMARAL, T. N. *et al.* Blends of *Pereskia aculeata* Miller mucilage, guar gum, and gum Arabic added to fermented milk beverages. **Food Hydrocolloids**, v. 79, p. 331-342, 2018.
- ARAÚJO, C. A. *et al.* Fermentation profile, chemical composition, and aerobic stability of cassava shoots silages with cactus pear. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v. 60, p. e212257-e212257, 2023.
- ARAÚJO, J. A. S. *et al.* Harvest period and baking industry residue inclusion on production efficiency and chemical composition of tropical grass silage. **Journal of Cleaner Production**, v. 266, p.121953, 2020.

AUERBACH, H; NADEAU, E. Chemical additives for silage: when to use and what are the options? In: **ISFQC Brazil 2019 Book**. 2019.

ÁVILA, C. L. S. *et al.* Avaliação dos conteúdos de carboidratos solúveis do capim-tanzânia ensilado com aditivos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, p. 648-654, 2006.

BABAEINASAB, Y. *et al.* Chemical composition, silage fermentation characteristics, and *in vitro* ruminal fermentation parameters of potato-wheat straw silage treated with molasses and lactic acid bacteria and corn silage. **American Society of Animal Science**, v. 93, n. 9, p. 4377-4386, 2015.

BARBALHO, S. M. *et al.* *Pereskia aculeata* Miller flour: Metabolic effects and composition. **Journal of Medicinal Food**, v. 19, n. 9, p. 890-894, 2016.

BARREIRA, T. F. *et al.* Nutrient content in ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata* Mill.): Unconventional vegetable of the Brazilian Atlantic Forest. **Food Science and Technology**, v. 41, suppl. 1, p. 47-51, 2021.

BATH, C. R. *et al.* The symbiotic rumen microbiome and cattle performance: A brief review. **Animal Production Science**, v. 53, n. 9, p. 876-881, 2013.

BERCHIELLI, T. T.; PIRES, A. V.; OLIVEIRA, S. G. (org.). **Nutrição de ruminantes**. 2. ed. Jaboticabal: Funep, 2011.

BORREANI, G. *et al.* Silage review: Factors affecting dry matter and quality losses in silages. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 5, 3952-3979, 2018.

BRITO, G. S. M. S. *et al.* Mixed silages of cactus pear and gliricidia: Chemical composition, fermentation characteristics, microbial population and aerobic stability. **Scientific Reports**, v. 10, p. 6834, 2020.

CAMPOS, F. S. *et al.* Alternativa de forragem para caprinos e ovinos criados no semiárido. **Nutri Time**, v. 14, n. 2, p. 5004-5013, 2017.

CHERNYUK, S. *et al.* Biological conservants impact on the silage quality and aerobic stability. **Ukrainian Journal of Ecology**, v. 9, n. 1, p. 226-230, 2019.

CORDEIRO, M. W. S. *et al.* Tropical grass silages with spineless cactus in diets of Holstein × Zebu heifers in the semiarid region of Brazil. **Tropical Animal Health and Production**, v. 55, n. 2, p. 89, 2023.

DA SILVA, T. C. *et al.* Effect of a chemical additive on fermentation and aerobic stability of high-moisture corn. **Journal of Dairy Science**, v. 98, n. 12, p. 8904-8912, 2015.

DAS, L. K. *et al.* Metabolizable protein systems in ruminant nutrition: A review. **Veterinary World**, v.7, n. 8, 2014

DESTA, S. T. *et al.* Ensiling characteristics, structural and nonstructural carbohydrate composition and enzymatic digestibility of Napier grass ensiled with additives. **Bioresource Technology**, v. 221, p. 447-454, 2016.

- DRIEHUIS, F. *et al.* Silage review: Animal and human health risks from silage. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 5, p. 4093-4110, 2018.
- DUNIÈRE, L. *et al.* Silage processing and strategies to prevent presistence of undesirable microorganisms. **Animal Feed Science and Technology**, v. 182, n. 1-4, p. 1-15, 2013.
- FIJAŁKOWSKA, M. *et al.* Changes of nitrogen compounds during ensiling of high protein herbage - A review. **Annals of Animal Science**, v. 15, n. 2, p. 289-305, 2015.
- GARCEZ NETO, A. F. *et al.* Effect of whey permeate and *Lactobacillus buchneri* on biomass conservation, chemical characteristics and aerobic stability of elephant grass silage. **Waste and Biomass Valorization**, v. 12, n. 2, p. 879-893, 2021.
- GARCIA, J. A. A. *et al.* Phytochemical profile and biological activities of “Ora-pro-nobis” leaves (*Pereskia aculeata* Miller), an underexploited superfood from the Brazilian Atlantic Forest. **Food Chemistry**, v. 294, p. 302-308, 2019.
- GOFF, H. D.; GUO, Q. **The role of hydrocolloids in the development of food structure**. 2019.
- HIGGS, R. J. *et al.* Updating the Cornell Net Carbohydrate and Protein System feed library and analyzing model sensitivity to feed inputs. **Journal of Dairy Science**, v. 98, n. 9, p. 6340-6360, 2015.
- HOFF, R. *et al.* Phenolic compounds profile and main nutrients parameters of two underestimated non-conventional edible plants: *Pereskia aculeata* Mill. (ora-pro-nóbis) and *Vitex megapotamica* (Spreng.) Moldenke (tarumã) fruits. **Food Research International**, v. 162, p. 112042, 2022.
- JOHANNES, L. P.; MINH, Tran T. N.; XUAN, T. D. Elephant grass (*Pennisetum purpureum*): a bioenergy resource overview. **Biomass**, v. 4, n. 3, p. 625-646, 2024.
- KUNG JR, L. *et al.* Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 5, p. 4020-4033, 2018.
- LI, D. *et al.* Fermentation characteristics, chemical composition and microbial community of tropical forage silage under different temperatures. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 32, n. 5, p. 665-674, 2019.
- LIMA JÚNIOR, D. M. *et al.* Silagem de gramíneas tropicais não-graníferas. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v.10, n. 2, p. 01-11, 2014
- LIRA, M. M. *et al.* Selected plants producing mucilage: Overview, composition, and their potential as functional ingredients in the development of plant-based foods. **Food Research International**, v. 169, p. 112822, 2023.
- LISE, C. C. *et al.* Alternative protein from *Pereskia aculeata* Miller leaf mucilage: technological potential as an emulsifier and fat replacement in processed *mortadella* meat. **European Food Research and Technology**, v. 247, p. 851-863, 2021.

- LOPES, L. *et al.* Palma forrageira na alimentação de ruminantes. **Pubvet**, v. 13, p. 170, 2019.
- MACIEL, V. B. V. *et al.* Ora-pro-nobis (*Pereskia aculeata* Miller): a potential alternative for iron supplementation and phytochemical compounds. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 24, p. e2020180, 2021.
- McDONALD, P.; HENDERSON, A. R.; HERON, S. J. E. **The Biochemistry of Silage**. 2. ed. Chalcombe Publications, 1991.
- MILLEN, D. D. **Rumenologia: Uma viagem ao fantástico mundo do rúmen**. Editora Território da Carne, ISBN 978-65-89571-13-1, 2023.
- MONÇÃO, F. P. *et al.* Productivity and nutritional value of BRS capiaçu grass (*Pennisetum purpureum*) managed at four regrowth ages in a semiarid region. **Tropical Animal Health and Production**, v. 52, n. 1, p. 235-241, 2020.
- MOSELHY, M. A.; BORBA, J. P.; BORBA, A. E. S. Improvement of the nutritional value, *in vitro* digestibility and aerobic stability of *Hedychium gardnerianum* silage through the application of additives at the time of ensiling. **Animal Feed Science and Technology**, v. 206, p. 8-18, 2015.
- MPEMBA, C.; LASWAI, G. H.; KIMAMBO, A. E. Comparison of rumen liquor from fistulated and slaughtered cattle in determination of *in vitro* digestibility of ruminant feeds. **Livestock Research for Rural Development**, v. 30, n. 1, p. 11, 2018.
- MUCK, R. E. *et al.* Silage review: Recent advances and future uses of silage additives. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 5, p. 3980-4000, 2018.
- National Academies of Sciences, Engineering, and medicine. NASEM. **Nutrient Requirements of Beef Cattle**. 8<sup>th</sup> ed. Washington, DC: The National Academies Press, 2016. 494 p.
- NOGUEIRA, M. S. *et al.* Feed alternatives with cactus forage silage for animal nutrition. **International Journal of Agriculture & Biology**, v. 22, n. 6, p. 1393-1398, 2019.
- OBA, M.; KAMMES-MAIN, K. Symposium review: Effects of carbohydrate digestion on feed intake and fuel supply. **Journal of Dairy Science**, v. 106, n. 3, p. 2153-2160, 2023.
- OKOYE, C. O. *et al.* The performance of lactic acid bacteria in silage production: A review of modern biotechnology for silage improvement. **Microbiological Research**, v. 266, p. 127212, 2023.
- OLADOSU, Y. *et al.* Fermentation quality and additives: a case of rice straw silage. **Bio Med research international**, v. 2016, n. 1, p. 7985167, 2016.
- OLIVEIRA, D. C. S. *et al.* Composição mineral e teor de ácido ascórbico nas folhas de quatro espécies olerícolas não-convencionais. **Horticultura Brasileira**, v. 31, n. 3, p. 472-475, 2013.

- OLIVEIRA, N. L. *et al.* Development and characterization of biodegradable films based on *Pereskia aculeata* Miller mucilage. **Industrial Crops and Products**, v. 130, p. 499-510, 2019.
- PEREIRA, A. V. *et al.* BRS Kurumi and BRS Capiaçú - New elephant grass cultivars for grazing and cut-and-carry system. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, p. 59-62, 2017.
- PEREIRA, G. A. *et al.* Isolation and identification of lactic acid bacteria in fresh plants and in silage from *Opuntia* and their effects on the fermentation and aerobic stability of silage. **The Journal of Agricultural Science**, v. 157, n. 9-10, p. 684-692, 2019.
- PEREIRA, V. A. *et al.* Elephantgrass, a tropical grass for cutting and grazing. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 16, n. 3, p. 1-13, 2021.
- PINTO, N. C. C. *et al.* *Pereskia aculeata* Miller leaves accelerate excisional wound healing in mice. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 194, p. 131-136, 2016.
- PINTO, N. C. C. *et al.* *Pereskia aculeata* Miller leaves present *in vivo* topical anti-inflammatory activity in models of acute and chronic dermatitis. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 173, p. 330-337, 2015.
- PORTO, F G. S. *et al.* *Pereskia aculeata* leaves: properties and potentialities for the development of new products. **Natural Product Research**, v. 36, n. 18, p. 4821-4832, 2022.
- QUEIROZ, F. E. *et al.* Effect of row spacing and maturity at harvest on the fermentative profile, aerobic stability, and nutritional characteristics of biomass sorghum (BRS 716) silage in the semiarid region of Brazil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 50, p. e20200254, 2021.
- QUEIROZ, O. C. M. *et al.* Silage review: Foodborne pathogens in silage and their mitigation by silage additives. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 5, p. 4132-4142, 2018.
- RABELO, C. H. S. *et al.* Effects of *Lactobacillus buchneri* as a silage inoculant or probiotic on *in vitro* organic matter digestibility, gas production and volatile fatty acids of low dry-matter whole-crop maize silage. **Grass and Forage Science**, v. 72, n. 3, p. 534-544, 2017.
- RODRIGUES, A. L. P. *et al.* Degradabilidade *in situ* da matéria seca de forrageiras tropicais obtidas em diferentes épocas de corte. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 56, n. 5, p. 658-664, 2004.
- RODRIGUES, R. *et al.* Total mixed ration silages based on forage cactus and xerophile legumes as alternatives for ruminants. **Agriculture**, v. 13, n. 9, p. 1759, 2023.
- SÁ, W. C. C. S. *et al.* Qualitative evaluation of total mixed ration silage containing forage cactus and guinea grass as a nutritional alternative for feedlot-finished sheep. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, p. 1-7, 2023.

- SÁNCHEZ-GUERRA, N. A. *et al.* Improvements in fermentation and nutritive quality of elephant grass [*Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone] silages: A review. **Tropical Animal Health and Production**, v. 56, n. 5, p. 171, 2024.
- SANTOS, F. N. S. *et al.* Fermentation profile, microbial populations, taxonomic diversity and aerobic stability of total mixed ration silages based on Cactus and *Gliricidia*. **Journal of Agricultural Science**, v. 158, n. 5, p. 396-405, 2020.
- SANTOS, P. P. A. *et al.* Desenvolvimento e caracterização de sorvete funcional de alto teor proteico com ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata* Miller) e inulina. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 25, p. e202012, 2022.
- SCHERER, R.; GERLACH, K.; SÜDEKUM, K.-H. Biogenic amines and gamma-amino butyric acid in silages: Formation, occurrence and influence on dry matter intake and ruminant production. **Animal Feed Science and Technology**, v. 210, p. 1-16, 2015.
- SETIASIH, S. *et al.* Effect of Addition of Seasoned Flour Waste on Digestion, Haematology and Growth Parameters in Sheep. **Animal Nutrition and Feed Technology**, v. 23, p. 553-56, 2023.
- SILVA, K. C. G. *et al.* Adsorption of protein on activated carbon used in the filtration of mucilage derived from *Pereskia aculeata* Miller. **South African Journal of Chemical Engineering**, v. 23, p. 42-49, 2017.
- SILVA, N. F. N. *et al.* *Pereskia aculeata* Miller as a Novel Food Source: A Review. **Foods**, v. 12, p. 2092, 2023.
- SILVA, S. H. *et al.* Extraction processes and characterization of the mucilage obtained from green fruits of *Pereskia aculeata* Miller. **Industrial Crops and Products**, v. 140, p. 111716, 2019.
- SILVEIRA, M. G. *et al.* Nutritional assay *Pereskia* spp.: Unconventional vegetable. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 92, suppl. 1, p. 1-16, 2020.
- TAKEITI, C. Y. *et al.* Nutritive evaluation of a non-conventional leafy vegetable (*Pereskia aculeata* Miller). **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 60, Suppl. 1, p.148-160, 2009.
- TILLEY, J. M. A.; TERRY, R. A. A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. **Grass and forage science**, v. 18, n. 2, p. 104-111, 1963.
- VAN SOEST, P. J. **Nutritional Ecology of the Ruminant**. 2<sup>nd</sup>. ed. Ithaca, NY: Comstock, 1994. 488 p.
- VARGAS, J. A. C. *et al.* Avaliação de um sistema alternativo de aquecimento-agitação automática na determinação da digestibilidade ruminal *in vitro* da matéria seca de forragens usando o método de Tilley e Terry. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 45, p. e61195, 2023.
- WANG, S. *et al.* Characteristics of isolated lactic acid bacteria and their effects on the silage quality. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 30, n. 6, p. 819-827, 2016.

ZEM, L. M. *et al.* *Pereskia aculeata*: biological analysis on wistar rats. **Food Science and Technology**, v.37, Suppl. 1, p.42-47, 2017.

ZEWDIE, A. K. Different methods of measuring feed digestibility: A review. **EC Nutr**, v. 14, n. 1, p. 68-74, 2019.

**2. CAPÍTULO II - Características Fermentativas e Valor Nutritivo da Silagem de  
Capim-elefante com Adição de Ora-Pro-Nóbis**

**NORMAS DA REVISTA ANIMAL FEED SCIENCE AND TECHNOLOGY**

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7 Características fermentativas e valor nutritivo da silagem de capim-elefante BRS Capiaçú  
8 com adição da cactácea ora-pro-nóbis  
9

10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18 Jailson Penha Costa <sup>a\*</sup>, Arnaud Azevêdo Alves <sup>a</sup>, Miguel Arcanjo Moreira Filho <sup>a</sup>, Ricardo  
19 Loiola Edvan <sup>a</sup>, Marcos Jácome de Araújo <sup>a</sup>, Wanderson Fiares Carvalho <sup>b</sup>, Marco Tulio Costa  
20 Almeida <sup>c</sup>

21  
22 <sup>a</sup> *Graduate Program in Tropical Animal Science, Federal University of Piauí, PI, Brazil*

23 <sup>b</sup> *Federal Institute of Education, Science and Technology of Piauí, PI, Brazil*

24 <sup>c</sup> *Federal University of Espírito Santo, ES, Brazil*  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33

34 \*Correspondência do autor: e-mail: jailson.costa@ifma.edu.br  
35

## 36 **Resumo**

37 O objetivo deste estudo foi avaliar as características fermentativas, a estabilidade aeróbica e o  
38 valor nutritivo da silagem da forragem de capim-elefante BRS Capiacu com adição da  
39 cactácea ora-pro-nóbis. Foi adotado o delineamento inteiramente casualizado com cinco  
40 tratamentos (controle, 10 %, 20 %; 30 % e 40 % de ora-pro-nóbis) e quatro repetições. Os  
41 silos foram abertos após 120 dias da vedação. O teor de proteína (PB) aumentou ( $P < 0,05$ ) e  
42 a fibra (FDA) reduziu ( $P < 0,05$ ) na silagem com a adição da ora-pro-nóbis à forragem de  
43 capim-elefante. As menores perdas fermentativas foram verificadas quando se adicionou 20  
44 % de ora-pro-nóbis à forragem ensilada. As silagens com adição de 10 % a 20 % de ora-pro-  
45 nóbis apresentaram baixa estabilidade aeróbica, com temperatura máxima 42 e 38 h após a  
46 abertura dos silos, respectivamente. A adição de ora-pro-nóbis não influenciou ( $P > 0,05$ ) as  
47 frações de carboidratos solúveis e de rápida degradação (A + B1). O pH foi mais estável com  
48 a adição de 30 % a 40 % de ora-pro-nóbis. A adição de ora-pro-nóbis não influenciou ( $P >$   
49  $0,05$ ) as frações A, B1 + B2 e B3 de compostos nitrogenados. A digestibilidade *in vitro* da PB  
50 (DIVPB) aumentou ( $P < 0,05$ ) com a adição de ora-pro-nóbis. A população de bactérias ácido  
51 lácticas (BAL) e leveduras reduziu ( $P < 0,05$ ) com o aumento da proporção de ora-pro-nóbis  
52 na silagem. A inclusão de 30 % da cactácea ora-pro-nóbis à forragem ensilada resulta em  
53 melhor equilíbrio da atividade fermentativa, estabilidade aeróbica e valor nutritivo da silagem  
54 de capim-elefante BRS Capiacu.

55 *Palavras-chave:* Ácidos orgânicos. Aditivo para silagem. Estabilidade aeróbica.  
56 Fermentação. *Pereskia aculeata* Miller.

57 *Abreviações:* AA, ácido acético; BAL, bactérias ácido lácticas; CAPT, capacidade tampão; CE,  
58 carboidratos estruturais; CF, carboidratos fibrosos; CHOs, carboidratos solúveis; CHOT,  
59 carboidratos totais; CNE, carboidratos não estruturais; CNF, carboidratos não fibrosos;  
60 DIVMS, digestibilidade *in vitro* da matéria seca; DIVPB, digestibilidade *in vitro* da proteína

61 bruta; *DIV*FDN, digestibilidade *in vitro* da fibra em detergente neutro; EE, extrato etéreo;  
62 ENT, enterobactérias; FDA, fibra em detergente ácido; FDN, fibra em detergente neutro;  
63 FDN<sub>cp</sub>, fibra em detergente neutro corrigida para cinza e proteína; HPLC, cromatografia  
64 líquida de alta performance; LIG, lignina; ML, mofos e leveduras; MN, matéria natural; MS,  
65 matéria seca; MV, matéria verde; N-NH<sub>3</sub>, Nitrogênio amoniacal; NT, Nitrogênio total; PB,  
66 proteína bruta; PE, perda de efluentes; PG, perda de gases; PMS, perda de matéria seca; SEM,  
67 erro padrão da média; Tmax, temperatura máxima; UFC, unidades formadoras de colônias.

## 68 1. INTRODUÇÃO

69 Nos trópicos, o semiárido apresenta condições climáticas que apresentam muitos desafios  
70 à produção animal, especialmente durante a época seca, quando há declínio acentuado no  
71 valor nutritivo das forragens, o que compromete diretamente a alimentação de pequenos  
72 ruminantes, como caprinos e ovinos, que dependem de recursos forrageiros adaptados às  
73 condições climáticas adversas (Campos et al., 2017). Assim, a conservação de forragem na  
74 forma de silagem é uma estratégia para garantir alimentação de qualidade durante todo o ano  
75 (Araújo et al., 2020; Li et al., 2018).

76 Dentre as espécies forrageiras tropicais, o capim-elefante (*Pennisetum*  
77 *purpureum* Schum.) se destaca pela alta produtividade de biomassa e resistência às condições  
78 adversas, no entanto, o elevado teor de umidade da forragem (> 70 %) pode comprometer o  
79 processo fermentativo da silagem (Pereira et al., 2021), sendo necessário o uso de aditivos que  
80 otimizem a qualidade da forragem ensilada (Garcez Neto et al., 2021).

81 A cactácea *Pereskia aculeata* Miller, conhecida popularmente como ora-pro-nóbis, tem  
82 característica promissoras para uso como aditivo, devido ao seu elevado teor de proteína  
83 bruta, presença de compostos bioativos e mucilagem (Santos et al., 2022; Lise et al., 2021),  
84 que pode ser definida como um polímero solúvel, hidrofílico que em contato com a água  
85 gelifica (Goff e Guo, 2019) composto principalmente por polissacarídeos e proteínas (Lai e  
86 Liang, 2012; Zeng e Lai, 2016).

87 Além do valor nutritivo, a forragem de ora-pro-nóbis é rica em proteínas, carboidratos,  
88 fibras e minerais, além de possuir propriedades antimicrobianas que podem inibir o  
89 desenvolvimento de microrganismos indesejáveis durante o processo de ensilagem (Garcia et  
90 al., 2019; Hoff et al., 2022). Essas características tornam esta forragem uma alternativa de  
91 aditivo para silagens de capim-elefante, visando melhorar o valor nutritivo e as características  
92 fermentativas da forragem ensilada.

93 Diante dos desafios associados à ensilagem de capim-elefante, este estudo teve como  
94 objetivo avaliar se a adição da ora-pro-nóbis melhora as características fermentativas, a  
95 estabilidade aeróbica e o valor nutritivo da silagem de capim-elefante cv. BRS Capiaçú.

96

## 97 **2. METODOLOGIA**

### 98 *2.1. Local do experimento*

99 O experimento foi conduzido no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do  
100 Maranhão (IFMA), Campus Caxias, localizado nas coordenadas 04°53'30" S e 43°24'53" W.  
101 O clima da região é do tipo Aw (tropical com chuva no verão), com precipitação média anual  
102 de 1.200 mm, temperatura média de 30 °C e umidade relativa do ar de 75 %.

### 103 *2.2. Delineamento experimental*

104 A forragem de capim-elefante (cv. BRS Capiaçú) foi colhida aos 110 dias de rebrota,  
105 cortado a 20 cm do solo, com altura média de 3,5 a 4,0 m, enquanto a forragem de ora-pro-  
106 nóbis foi colhida aos 8 meses após corte de uniformização. As forragens foram picadas em  
107 partículas de 2 cm e misturadas conforme os tratamentos.

108 Foi adotado o delineamento experimental inteiramente casualizado, com cinco  
109 tratamentos (silagem exclusiva de capim-elefante e adições de 10 %, 20 %, 30 % ou 40 % de  
110 ora-pro-nóbis, em base natural) e quatro repetições. A ensilagem foi realizada em minissilos  
111 de balde (18 cm × 16,5 cm), contendo 1 kg de areia lavada na base para absorção de efluentes,  
112 isolada da forragem por TNT. A forragem foi compactada a aproximadamente 600 kg/m<sup>3</sup>, e os  
113 silos vedados com válvula de Bunsen para liberação de gases por 120 dias.

### 114 *2.3. Composição química*

115 Os teores de matéria seca (MS; 967.03), cinza (MM; 942.05), proteína bruta (PB; 981.10)  
116 e extrato etéreo (EE; 920.39) foram analisados de acordo com Latimer Jr. (2023), e fibra em  
117 detergente neutro corrigida para cinza e proteína (FDN<sub>cp</sub>), fibra em detergente ácido (FDA) e  
118 lignina, de acordo com Detmann et al. (2012) (Tabela 2).

119        *2.4. Digestibilidade in vitro*

120        A determinação da digestibilidade *in vitro* das silagens seguiu o Protocolo 005/2021,  
121        aprovado pelo Comitê de Ética para Uso de Animais da UFES. Utilizou-se líquido ruminal de  
122        ovelhas Santa Inês x Dorper canuladas, coletado pela manhã, filtrado em tecido de algodão e  
123        mantido a 39 °C em garrafas térmicas.

124        A digestibilidade *in vitro* da MS, PB e FDN das silagens foi realizada pela técnica  
125        ANKOM Technology (2023). Foram incubados 0,5 g de amostra (moída a 1,0 mm) em sacos  
126        F-57 no sistema DAISY II, com 1.332 mL de solução tampão (A:  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,  
127         $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , ureia; B:  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ; pH 6,8 a 39 °C). Após 30 minutos,  
128        adicionou-se 400 mL de líquido ruminal, mantendo-se em incubação anaeróbia ( $\text{CO}_2$   
129        contínuo) por 48 h a 39 °C, sob agitação. Em seguida, acrescentou-se pepsina e HCl 6N,  
130        incubando por mais 24 h.

131        Os sacos foram lavados, secos a 55 °C por 72 h e analisados para MS (934.15) e PB  
132        (990.03), de acordo com Latimer Jr. (2023), e FDN (Detmann et al., 2012) para determinação  
133        da digestibilidade.

134        *2.5. Fracionamento de carboidratos e de compostos nitrogenados*

135        As frações de carboidratos foram determinadas de acordo com Sniffen et al. (1992) e  
136        Russell et al. (1992). Os carboidratos totais (CHOT) foram calculados como  $\text{CHOT} = 100 -$   
137         $(\% \text{PB} + \% \text{EE} + \% \text{MM})$ , e os carboidratos não fibrosos (CNF) como  $\text{CNF} = \text{CHOT} -$   
138         $\text{FDN}_{\text{cp}}$ . As frações dos carboidratos foram obtidas por: Fração B2 (% CHOT) =  $100 \times$   
139         $[(\text{FDN}_{\text{c}} - (\text{PIDN} \times 0,01 \times \text{PB}) - \text{K}) / \text{CHOT}]$ , sendo  $\text{K} = \text{FDN}_{\text{cp}} \times 0,01 \times \text{LIG} \times 2,4$ ; Fração  
140        C (% CHOT) =  $100 \times (\text{K} / \text{CHOT})$ ; Fração A + B1 (% CHOT) =  $100 - (\text{B2} + \text{C})$ .

141        Para o fracionamento dos compostos nitrogenados, a fração A (NNP) foi extraída com  
142        água destilada e ácido tricloroacético (TCA 100 g/L), filtrada e submetida à digestão Kjeldahl

143 (Licitra et al., 1996). As demais frações foram calculadas como:  $B1 + B2 = 100 - [NNP +$   
 144  $(NIDN - NIDA) + NIDA]$ ;  $B3 = NIDN - NIDA$ , e  $NIDA = \text{fração C}$ .

145

## 146 *2.6. Perdas Fermentativas*

147 As perdas gasosas, perdas totais de MS e perdas de efluentes (kg/t MV) foram  
 148 quantificadas conforme proposto por Jobim et al. (2007).

149 A perda gasosa (PG) foi calculada pela equação:  $PG = \{[(P_{cen} - P_{en}) * MS_{en}] - [P_{cab} - P_{en})$   
 150  $* MS_{ab}] / [(P_{cen} - P_{en}) * MS_{en}]\} * 100$ , sendo:  $P_{Cen}$  = Peso do silo cheio na ensilagem (kg);  
 151  $P_{en}$  = Peso do silo (silo + tampa + areia + tela + pano) na ensilagem (kg);  $MS_{en}$  = Teor de  
 152 MS da forragem na ensilagem (%);  $P_{Cab}$  = Peso do silo cheio na abertura (kg);  $MS_{ab}$  = Teor  
 153 de MS da forragem na abertura (%).

154 A perda total de matéria seca (PMS) foi calculada pela equação:  $PMS = \{[(MS_i - MS_f)] /$   
 155  $MS_i\} * 100$ , sendo:  $PMS$  = Perda total de MS, em % da MS;  $MS_i$  = Quantidade de MS inicial,  
 156 obtida a partir do peso do silo após enchimento, subtraído do peso do silo vazio, sem a  
 157 forragem, antes do enchimento (tara seca) multiplicado pelo teor de MS da forragem na  
 158 ensilagem;  $MS_f$  = Quantidade de MS final, obtida a partir do peso do silo cheio antes da  
 159 abertura, subtraído peso do silo vazio, sem a forragem, após a abertura dos silos (tara úmida)  
 160 multiplicado pelo teor de MS da forragem na abertura do silo.

161 A perda de efluentes (PE) foi calculada pela equação:  $PE = (P_{ef} * 1000) / MV_i$ , sendo:  $PE$   
 162 = perdas de efluentes, em kg/t MV;  $P_{ef}$  = peso de efluente, obtido a partir do peso do silo  
 163 vazio após a abertura subtraído do peso do silo vazio antes do enchimento;  $MV_i$  = quantidade  
 164 de massa verde de forragem ensilada.

## 165 *2.7. Estabilidade aeróbica das silagens*

166 A estabilidade aeróbica das silagens foi avaliada de acordo com Bernardes et al. (2007).  
 167 Amostras de silagem foram acondicionadas em recipientes plásticos de 5L mantidos a 25 °C.

168 A temperatura foi monitorada a cada 2 h, por 96 h, utilizando-se um termômetro posicionado  
169 a 10 cm do centro da massa.

170 A estabilidade aeróbica foi definida como o tempo necessário para a temperatura da  
171 silagem aumentar 2 °C acima do ambiente (Moran et al., 1996). Paralelamente, o pH foi  
172 medido conforme Cherney e Cherney (2003), com registros iniciais no tempo zero (abertura  
173 dos silos) e a cada 2 h até que a temperatura atingisse o critério de + 2 °C em relação ao  
174 ambiente.

#### 175 2.8. Capacidade tampão das silagens

176 A capacidade tampão das silagens foi avaliada pelo método de Playne e McDonald  
177 (1966). Foram adicionadas 15 g de silagem em 250 mL de água destilada. Em seguida, a  
178 solução foi titulada, inicialmente com HCl, até pH 3,0, e posteriormente, com NaOH, até pH  
179 6,0. A capacidade tampão foi calculada pela fórmula:

180  $CAPT = [0,1 * (V_a - V_b) / PA] * 100$ , sendo: CAPT = capacidade tampão em e.mg  
181 NaOH/100 g MS; 0,1 = Normalidade do NaOH;  $V_a$  = volume de NaOH necessário para  
182 mudar o pH da amostra de 4,0 para 6,0;  $V_b$  = volume de NaOH necessário para mudar o pH  
183 do branco de 4,0 para 6,0; PA = peso da amostra seca = [(peso da amostra\*MS) /100].

#### 184 2.9. Nitrogênio amoniacal (N-NH<sub>3</sub>) das silagens

185 A concentração de Nitrogênio amoniacal (N-NH<sub>3</sub>) foi obtida pelo método de Bolsen et al.  
186 (1992). Foram adicionados 10 g de silagem em 60 mL de água destilada. Deste macerado  
187 aquoso foram coletados 10 mL em tubo e centrifugou-se por 20 minutos, a 3.000 r.p.m. Do  
188 centrifugado, coletou-se 2 mL do sobrenadante e destilou-se o Nitrogênio em aparelho Micro-  
189 Kjeldahl, conforme método para proteína bruta a partir da destilação, no entanto, procedeu-se  
190 a titulação com solução de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,2N.

#### 191 2.10. Ácidos orgânicos das silagens

192 A análise dos ácidos orgânicos (lático, acético, propiônico e butírico) foi realizada  
193 conforme Kung Jr e Ranjit (2001). Amostras de 10 mL do suco de silagem foram diluídas (10  
194 %) em água destilada acidificada com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 50 %, filtradas em papel Whatman e tratadas  
195 com ácido metafosfórico 20 % e ácido fênico 0,1 %. Após centrifugação, os ácidos foram  
196 quantificados por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC, Shimadzu LCMS2020,  
197 modelo UFLC).

#### 198 2.11. *Carboidratos solúveis totais das silagens*

199 Os carboidratos solúveis foram quantificados segundo Dubois et al. (1956). Amostras de  
200 0,1 g foram extraídas com etanol 80 % em banho-maria a 80 °C por 30 min, filtradas em TNT  
201 e diluídas a 500 mL com água destilada. Alíquotas de 2 mL do extrato foram tratadas com  
202 fenol 5 % (1 mL) e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado (5 mL). A quantificação foi realizada por  
203 espectrofotometria a 510 nm, utilizando curva-padrão de glicose 0,01 %.

#### 204 2.12. *Análise microbiologia das silagens*

205 A análise microbiológica das silagens foi realizada de acordo com González e Rodrigues  
206 (2003). Foram preparadas diluições seriadas (10<sup>-1</sup> a 10<sup>-6</sup>) de amostras de silagem em água  
207 destilada autoclavada (120 °C/15 min), com homogeneização manual entre cada transferência.  
208 As alíquotas foram plaqueadas em duplicata em meios específicos: BAL: Ágar Rogosa  
209 (48h/35 °C); Mofos e leveduras: Ágar BDA acidificado (48h/35 °C); Enterobactérias: Ágar  
210 Brilliant Green Bile em dupla camada (24h/35 °C). Foi considerado somente as placas com 30  
211 a 300 UFC, os dados de populações microbianas foram transformados (log 10).

#### 212 2.13. *Análise estatística*

213 Foi adotado o modelo estatístico:

214  $Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$ , sendo:

215  $Y_{ij}$  = valor observado para a variável em estudo referente ao  $i$ -ésimo tratamento na  $j$ -ésima  
216 repetição;

217  $\mu$  = constante inerente ao modelo;

218  $T_i$  = efeito do tratamento  $i$  no valor observado;

219  $E_{ij}$  = erro associado à observação  $Y_{ij}$ .

220 Os dados obtidos foram analisados com auxílio do Software estatístico SAS *OnDemand*  
221 *for Academics*, adotando-se o procedimento PROC REG para obtenção dos parâmetros das  
222 equações de regressão, com nível de significância  $\alpha = 0,05$ , sendo considerado tendência  
223 quando  $\alpha \geq 0,05$  e  $< 0,1$ . O procedimento PROC UNIVARIATE foi adotado para testar a  
224 normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk  $\alpha = 0,05$ , e quando necessária foi realizada a  
225 transformação raiz quadrada dos dados das variáveis não distribuídos normalmente.

226

### 227 3. RESULTADOS

228 A adição da cactácea ora-pro-nóbis à silagem de capim-elefante BRS Capiaçú resultou em  
229 efeito quadrático ( $P < 0,05$ ) para os teores de matéria seca (MS), cinza, FDNcp, EE, CNF e  
230 lignina. Foram verificados maiores teores de MS (21,23 %), cinza (93,61 %) e FDNcp (70,94  
231 %), quando da adição de 13,32 %, 9,68 % e 7,91 % da cactácea, respectivamente. Menores  
232 teores ( $P < 0,05$ ) de EE (1,52 %), CNF (14,05 %) e lignina (5,03 %) foram verificados  
233 quando da adição de 14,24 %, 41,07 % e 9,42 % da cactácea, respectivamente. O teor de PB  
234 aumentou ( $P < 0,05$ ) e a FDA reduziu ( $P < 0,05$ ) com a adição de ora-pro-nóbis à silagem  
235 (Tabela 3).

236 A adição de ora-pro-nóbis à silagem não influenciou ( $P > 0,05$ ) as frações de carboidratos  
237 solúveis de rápida degradação (A + B1). No entanto, houve efeito quadrático ( $P < 0,05$ ) para  
238 as frações de lenta degradação (B2) e indegradável (C), com maior fração B2 (41,00 %)  
239 quando da adição de 10,92 % da cactácea, e menor fração C quando da adição de 7,50 % da  
240 cactácea (Tabela 4). Quanto à digestibilidade da MS e da fibra, a  $DIVMS$  e  $DIVFDN$  das  
241 silagens não foram influenciados ( $P > 0,05$ ) pela adição de ora-pro-nóbis.

242 Quanto aos compostos nitrogenados, a adição de ora-pro-nóbis não influenciou ( $P > 0,05$ )  
243 as frações A; B1 + B2 e B3. No entanto, houve efeito quadrático ( $P < 0,05$ ) para a fração C,  
244 com menor proporção desta fração (8,53 %) quando da adição de 28,48 % da cactácea (Tabela  
245 4). No entanto, a *DIVPB* aumentou ( $P < 0,05$ ) com a adição da cactácea (Tabela 3).

246 A adição da cactácea ora-pro-nóbis à silagem de capim-elefante BRS Capiáçu resultou em  
247 efeito quadrático ( $P < 0,05$ ) para as perdas de gases (PG), perdas de efluentes (PE) e perdas  
248 de matéria seca (PMS). As menores PG, PE e PMS foram de 1,93 %, 34,69 % e 2,83 %,   
249 quando da adição de 23,41 %, 23,91 % e 24,29 % da cactácea, respectivamente (Tabela 5).

250 Quanto à estabilidade aeróbica, também houve efeito quadrático ( $P < 0,05$ ) da adição de  
251 ora-pro-nóbis à silagem, com maior temperatura,  $T_{max}$  (27,5 °C), quando da adição de 12,95  
252 % da cactácea. As silagens com adição de 10 % a 20 % de ora-pro-nóbis atingiram a  $T_{max}$  42  
253 e 38 h após a abertura dos silos, respectivamente, indicando menor estabilidade aeróbica. No  
254 entanto, as silagens com 30 % a 40 % da cactácea demandaram mais tempo para atingir a  
255  $T_{max}$ , o que indica melhor estabilidade aeróbica (Tabela 5).

256 O pH aumentou ( $P < 0,05$ ) com a adição de ora-pro-nóbis, e variou ao longo do tempo de  
257 avaliação da estabilidade aeróbica (Figura 1). A adição de 30 % a 40 % da cactácea propiciou  
258 maior estabilidade do pH, enquanto as proporções de 10 % a 20 % resultaram em rápida  
259 elevação do pH após 24 h de exposição aeróbica. Em geral, os valores de pH apresentaram  
260 aumento com a adição de ora-pro-nóbis às silagens (Tabela 6).

261 A capacidade tampão (CT) aumentou ( $P < 0,05$ ) com a adição de ora-pro-nóbis à silagem.  
262 No entanto, a concentração de N-NH<sub>3</sub> apresentou resposta quadrática ( $P < 0,05$ ) à adição de  
263 ora-pro-nóbis à silagem, com maior concentração de N-NH<sub>3</sub> (6,03 %) quando da adição de  
264 11,67 % da cactácea (Tabela 6).

265 Quanto à concentração de ácidos orgânicos das silagens, houve aumento ( $P < 0,05$ ) da  
266 concentração de ácido acético com a adição da cactácea, enquanto a concentração de ácido

267 láctico tendeu ( $P = 0,06$ ) a reduzir. Assim, a relação ácido láctico:acético ( $P < 0,05$ ) com a  
268 adição da cactácea. Quanto à concentração de ácido butírico, houve resposta quadrática ( $P <$   
269  $0,05$ ) quando da adição de ora-pro-nóbis às silagens, com menor concentração de ácido  
270 butírico (9,14 %) quando da adição de 28,62 % da cactácea (Tabela 7).

271 Quanto à população microbiana, a adição de ora-pro-nóbis à silagem resultou em redução  
272 ( $P < 0,05$ ) da população de bactérias ácido lácticas (BAL) e de leveduras. No entanto, a  
273 população de mofo não variou ( $P > 0,05$ ) (Tabela 7).

274

## 275 4. DISCUSSÃO

### 276 4.1. Composição e frações de carboidratos e compostos nitrogenados

277 Os teores de MS das silagens (Tabela 3) foram inferiores aos recomendados para silagens.  
278 Neste estudo, o teor de MS atingiu o valor máximo (21,23 %) quando da adição de 13,32 %  
279 de ora-pro-nóbis, inferior ao considerado adequado (28 % a 35 % de MS) para não  
280 comprometer o processo fermentativo e conseqüentemente o valor nutritivo da silagem  
281 (McDonald et al., 1991). Entretanto, apesar do baixo teor de MS, o processo fermentativo não  
282 foi comprometido.

283 O baixo teor de MS das silagens com adição da cactácea decorre do baixo teor de MS das  
284 forragens de capim-elefante cv BRS Capiaçú e ora-pro-nóbis (Amaral et al., 2020; Ferreira et  
285 al., 2024; Ferreira et al., 2013; Pereira et al., 2017; Pinto e Scio, 2014). Baixo teor de MS em  
286 silagem de gramínea com inclusão de cactácea também foi obtido por Sobral et al. (2024)  
287 para silagem de milho com adição de 10 % de palma forrageira orelha-de-elefante mexicana,  
288 com 193,6 g/kg<sup>-1</sup> MS.

289 Quando da adição de 40 % de ora-pro-nóbis houve aumento de 100 % no teor de PB da  
290 silagem em relação à silagem exclusiva de capim-elefante (Tabela 3). As folhas da ora-pro-  
291 nóbis possuem 251,5±4,01 g PB kg<sup>-1</sup> MS (Almeida et al., 2014; Maciel et al., 2021; Takeiti et  
292 al., 2009), o que contribui para melhorar o valor proteico das silagens.

293 Os compostos nitrogenados são fundamentais para o crescimento dos microrganismos  
294 ruminais (Hristov et al., 2019). Quanto às frações A, B1 + B2 e B3 dos compostos  
295 nitrogenados, a adição de ora-pro-nóbis não contribui para maior disponibilidade de NNP e  
296 PB degradável no rúmen. No entanto, a fração indigestível (fração C) atingiu a menor  
297 proporção quando da adição de 28,48 % de ora-pro-nóbis. Os compostos bioativos, como  
298 taninos, podem se unir às proteínas e influenciar as frações indegradável e de lenta  
299 degradação (Melo et al., 2004), e formar complexos que protegem a proteína da degradação  
300 ruminal, podendo melhorar a eficiência de utilização da proteína metabolizável (Makkar,  
301 2003).

302 O teor de FDNcp é um critério relevante na determinação da qualidade da forragem, sendo  
303 um limitador de consumo, devido ao efeito de enchimento físico do rúmen (Ribeiro et al.,  
304 2014). Teor adequado de FDNcp aumenta o consumo de forragem (Cao et al., 2021), melhora  
305 a digestibilidade (Truong e Thu, 2022), e contribui para uma melhor fermentação ruminal  
306 (Sousa et al., 2018), com melhor resposta produtiva pelos ruminantes (Shi et al., 2023).

307 O maior teor de FDNcp foi obtido com a adição de apenas 7,91 % de ora-pro-nóbis à  
308 silagem de capim-elefante BRS Capiaçú e este teor reduziu à medida que se adicionou a  
309 cactácea. Essa redução pode ser atribuída à menor proporção de fibra da massa ensilada  
310 quando da adição da cactácea, a qual apresentou menor teor de FDNcp (526,7 g kg<sup>-1</sup> MS) em  
311 relação à gramínea capim-elefante (706,8 g kg<sup>-1</sup> MS).

312 Quando da inclusão de 20 % da cactácea palma forrageira à silagem do capim-elefante  
313 BRS Capiaçú, Monção et al. (2020) obtiveram 693,6 g kg<sup>-1</sup> MS de FDN, valor próximo ao  
314 obtido em nosso estudo (702,7 g kg<sup>-1</sup> MS) para equivalente proporção de ora-pro-nóbis  
315 (Tabela 3).

316 A redução do teor de FDA da silagem com a adição de ora-pro-nóbis (Tabela 3) contribui  
317 para a qualidade da silagem, uma vez que elevado teor de FDA induz redução no consumo de

318 silagem pelos ruminantes (Chapman et al., 2014; Mertens, 1994), considerando-se que teores  
319 de FDA superiores a 44 % podem comprometer a digestibilidade (Cândido et al., 2007). Em  
320 nosso estudo, os teores de FDA foram iguais e inferiores 44 % quando da adição da cactácea  
321 nas proporções de 30 % a 40 % às silagens (Tabela 3).

322 Os teores de FDA nas silagens de nosso estudo são superiores aos obtidos por Sobral et al.  
323 (2024), para silagem de palha de milho com adição de 20 % de palma forrageira (315,67 g kg<sup>-1</sup>  
324 MS). Essa diferença pode ser atribuída aos maiores teores de FDA do capim-elefante (441,8  
325 g kg<sup>-1</sup> MS) e da ora-pro-nóbis (326,6 g kg<sup>-1</sup> MS) quando da ensilagem (Tabela 2), em relação  
326 aos teores 98,7 g kg<sup>-1</sup> MS (palma forrageira) e 292,1 g kg<sup>-1</sup> MS (capim-elefante) no estudo de  
327 Sobral et al. (2024).

328 A lignina é um composto fenólico (Chio et al., 2019) associado aos constituintes da  
329 parede celular vegetal (Oliveira et al., 2020). A lignificação intensifica a resistência física e  
330 química da parede celular dificultando o acesso das enzimas microbianas aos carboidratos  
331 estruturais (Liu et al., 2018), o que pode explicar a redução na digestibilidade *in vitro* da FDN  
332 (DIVFDN) das silagens com maiores proporções de ora-pro-nóbis (Tabela 3). No entanto,  
333 apesar do aumento da lignina, a digestibilidade da proteína bruta (DIVPB) melhorou e indica  
334 que benefícios nutritivos da cactácea, como o elevado teor proteico, podem compensar os  
335 efeitos negativos da lignina na degradação da fibra.

336 Os carboidratos são as principais fontes de energia para os ruminantes e a forma como são  
337 degradados reflete no desempenho animal (Berchielli et al., 2011). A adição de 10,92 % de  
338 ora-pro-nóbis resultou na maior proporção da fração B2 dos carboidratos, que consiste em  
339 carboidratos de lenta degradação, e dependem da ação microbiana no rúmen para degradação  
340 (Sniffen et al., 1992), o que pode estar relacionado ao teor de fibra insolúvel da ora-pro-nóbis,  
341 que pode contribuir para estabilizar a fração fibrosa durante o processo de degradação (Silva  
342 et al., 2023).

343 O menor valor da fração B2 (279,5 g kg<sup>-1</sup> MS) se verificou com a adição de 40 % de  
344 forragem de ora-pro-nóbis à silagem, resultado semelhante ao obtido por Cunha et al. (2022),  
345 quando da adição de 45 % de palma forrageira à silagem de capim-elefante, com 258,9 g kg<sup>-1</sup>  
346 MS, o que pode se justificar pelo maior teor de FDN na forragem da gramínea capim-elefante  
347 em relação à cactácea.

348 A fração C dos carboidratos pode ser compreendida como os constituintes fibrosos da  
349 parede celular que indegradáveis no rúmen (NASEM, 2021). A fração C apresentou efeito  
350 quadrático, influenciado pelo aumento linear da lignina (Tabela 3), com teor mínimo 7,50 %,  
351 influenciando a cinética de degradação dos carboidratos da silagem (Millen et al., 2016).

#### 352 4.2. Digestibilidade *in vitro*

353 A digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) indica o potencial da MS em ser  
354 digerida e absorvida pelos ruminantes, se caracterizando como um parâmetro que indica a  
355 eficiência da utilização dos alimentos (Akmal e Zain, 2018). Em nosso estudo, a adição da  
356 ora-pro-nóbis não influenciou a DIVMS e DIVFDN, o que pode ser explicado pela  
357 composição química da ora-pro-nóbis e do capim-elefante, cujas frações fibrosas podem  
358 reduzir a digestibilidade da MS (Jayanegara et al., 2019; Lemos et al., 2020), devido ao efeito  
359 de enchimento (Chapman et al., 2014), combinado à presença de lignina (Pazla et al., 2021),  
360 que forma éster-hemicelulose (Jung e Deetz, 1993), à medida que a planta alcança a  
361 maturidade fisiológica (Monção et al., 2020).

362 A digestibilidade *in vitro* da proteína bruta (DIVPB) indica a qualidade proteica das  
363 forragens. A adição de ora-pro-nóbis resultou em melhoria da DIVPB das silagens, o que pode  
364 ter decorrido do teor e qualidade da PB desta cactácea, que contribui para melhorar a  
365 disponibilidade de Nitrogênio à microbiota ruminal (Bach et al., 2005), outro fator que pode  
366 ter influenciado foram os compostos bioativos da ora-pro-nóbis, que alteram a fermentação e  
367 podem melhorar a eficiência da degradação proteica (Mueller-Harvey, 2006).

### 368 4.3. Perdas fermentativas e Estabilidade Aeróbica

369 A adição de 20 % de ora-pro-nóbis levou à maior redução das perdas gasosas (24,0 g kg<sup>-1</sup>)  
370 durante o processo de fermentação da silagem, seguido da inclusão de 10 % da cactácea (30,9  
371 g kg<sup>-1</sup>). Efeito semelhante foi obtido por Sobral et al. (2024), com redução de perdas gasosas  
372 (79,3 g kg<sup>-1</sup>) na silagem de milho com adição de 20 % de palma forrageira. A redução nas  
373 perdas gasosas pode ter decorrido da ação antimicrobiana da mucilagem (Garcia et al., 2019),  
374 com influência na redução de bactérias do gênero *Clostridium* (Jobim et al., 2007), as quais ao  
375 fermentarem carboidratos e aminoácidos propiciam aumento de perdas gasosas (McDonald et  
376 al., 1991).

377 Da mesma forma que para perdas gasosas, a adição de 20 % de ora-pro-nóbis resultou em  
378 menores perdas por efluentes (33,4 Kg/t MV). No entanto, Monção et al. (2020), observaram  
379 aumento das perdas por efluentes com a adição de palma forrageira à silagem de capim-  
380 elefante, com o máximo com inclusão de 20% da cactácea (61,24 Kg/t MV) e menores perdas  
381 com 10 % deste aditivo (32,31 Kg/t MV).

382 Um dos fatores para mitigar as perdas por efluentes é a manutenção do teor de MS em  
383 uma faixa ideal (Ramos et al., 2021). Esse efeito pode estar relacionado à presença de  
384 mucilagem nas cactáceas, composto formado por hidrocoloides com propriedade osmótica  
385 (Brito et al., 2020), que evitam a lixiviação (Du Toit et al., 2018) e contribuem para redução  
386 de perdas por efluentes durante o processo de ensilagem (Nogueira et al., 2019).

387 A perda de MS foi inferior a 50 g kg<sup>-1</sup> para a inclusão de até 40% de ora-pro-nóbis  
388 (Tabela 5), indicando que apesar dos baixos teores de MS das silagens (Tabela 3), está  
389 cactácea contribui para reduzir perdas e melhorar a eficiência fermentativa. Nossos resultados  
390 são bem melhores que os obtidos Jobim et al. (2006) para silagem exclusiva da gramínea  
391 capim-elefante, com PMS estimada em 130 a 160 g kg<sup>-1</sup> para teores de MS 205,9 a 220,5 g  
392 kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

393 A redução nas perdas de MS também pode estar relacionada ao valor proteico da ora-pro-  
394 nóbis (Tabela 2), cujo Nitrogênio pode ter sido utilizado como substrato para microrganismos  
395 fermentadores no silo. A utilização de aditivos proteicos em silagens melhora o processo  
396 fermentativo e reduz o pH, tornando o ambiente mais estável (Kung Jr. et al., 2018). Além  
397 disso, o uso de aditivos naturais com propriedades antimicrobianas diminui o crescimento de  
398 microrganismos indesejáveis e reduz as perdas de MS (Queiroz et al., 2018).

399 A adição de 20 % ou mais de ora-pro-nóbis resultou em melhor estabilidade aeróbica,  
400 enquanto a adição de 40 % desta cactácea resultou em maior tempo de estabilidade (96 h).  
401 Esse efeito pode ter decorrido da ação antimicrobiana da ora-pro-nóbis (Teixeira et al., 2023),  
402 que contém polifenóis como flavonoides, alcaloides e ácidos fenólicos, os quais possuem a  
403 função de inibir o crescimento de microrganismos (Ciríano et al., 2023; Silva et al., 2024).

404 A ação dos polifenóis ocorre por dois mecanismos principais, com ação sobre a membrana  
405 celular dos microrganismos, modificando-a e inibindo o crescimento microbiano  
406 (Makarewicz et al., 2021), além de inibir enzimas fundamentais ao metabolismo dos  
407 microrganismos (Piekarska-Radzik e Klewicka, 2021).

#### 408 *4.4. Indicadores de Fermentação*

409 Apesar do baixo teor de MS das silagens, o processo fermentativo não foi comprometido,  
410 uma vez que o pH se manteve na faixa ideal de 3,8 a 4,2 (McDonald et al., 1991), tanto para a  
411 silagem exclusiva de capim-elefante quanto com adição de 10 % de ora-pro-nóbis. Quando da  
412 adição de 20 a 40 % da cactácea, os valores de pH das silagens foram 4,45 a 4,60,  
413 respectivamente (Figura 1). Resultado semelhante foi obtido por Monção et al. (2020), com  
414 pH 4,65 em silagem de capim-elefante com adição de até 20 % de palma forrageira.

415 Outro fator que indica que a MS não comprometeu o processo fermentativo são os valores  
416 de N-NH<sub>3</sub> inferiores a 7 % (Tabela 6). Silagens com menos de 10 % de N-NH<sub>3</sub> são  
417 consideradas ideais, indicando um bom processo fermentativo (McDonald et al., 1991), com

418 baixa atividade das proteases (Sánchez-Duarte e García, 2017). Valores de N-NH<sub>3</sub> acima  
419 deste limite indicam excessiva hidrólise de proteína (AFRC, 1978).

420 Há relação direta entre valores de pH e concentração de N-NH<sub>3</sub>, devendo a degradação da  
421 proteína ocorrer com pH 5 a 6 (Backes et al., 2014). Neste sentido, a ora-pro-nóbis contribuiu  
422 para uma maior capacidade tampão das silagens (Tabela 6). A capacidade tampão é poder que  
423 o material possui em resistir à redução do pH (Kung Jr., 2010). Em silagens com elevada  
424 capacidade tampão é necessária maior produção de ácido láctico para se atingir o pH ideal (3,8  
425 a 4,2), o que pode ser limitante se a população de BAL for insuficiente (Queiroz et al., 2018).

#### 426 *4.5. Ácidos orgânicos e população microbiana*

427 O ácido láctico é um ácido orgânico produzido principalmente pela utilização dos  
428 carboidratos solúveis pelas bactérias ácido lácticas homofermentativas (Bangar et al., 2022),  
429 um dos principais indicativos de uma boa fermentação (Wang et al., 2016), por ser um ácido  
430 forte e ocasionar redução do pH da silagem (Othman et al., 2017). Em nosso estudo, a adição  
431 de 20 % de ora-pro-nóbis resultou em concentração de ácido láctico 34,16 g kg<sup>-1</sup> MS,  
432 semelhante ao obtido por Arreola et al. (2019), para silagem de milho com adição de 25 % de  
433 palma forrageira (33,7 g ácido láctico kg<sup>-1</sup> MS). Estes resultados estão de acordo com as  
434 proporções ideais (30 a 70 g kg<sup>-1</sup> de MS) em silagens bem fermentadas (McDonald et al.,  
435 1991).

436 Houve tendência de redução da proporção de ácido láctico com a adição de ora-pro-nóbis,  
437 exceto quando da adição de 20 % da cactácea, quando houve adequada concentração de ácido  
438 láctico (34,16 g kg<sup>-1</sup> MS) (Tabela 7). Um fator que pode ter influenciado a redução da  
439 produção de ácido láctico, pode ter sido a diminuição das bactérias ácido lácticas  
440 homofermentativas e um possível aumento das heterofermentativas, propiciando maior  
441 produção de ácido acético (Gänzle, 2015) o que refletiu na maior estabilidade aeróbica da  
442 silagem.

443 A adição de ora-pro-nóbis propiciou maior produção de ácido acético na silagem (Tabela  
444 7), o que pode estar relacionado à maior concentração de bactérias ácido lácticas  
445 heterofermentativas, que possuem o ácido acético como um dos produtos da fermentação  
446 (Zotta et al., 2018). As bactérias ácido lácticas heterofermentativas aumentam a concentração  
447 de ácido acético na silagem (Gomes et al., 2021). Além disso, silagens com baixo teor de MS  
448 (< 30 %) podem apresentar maiores concentrações de ácido acético (Kung Jr. et al., 2018).  
449 Merece destaque os teores de MS em nosso estudo, inferiores aos recomendados pelos autores  
450 (Tabela 3).

451 A presença do ácido acético nas silagens melhorou a estabilidade aeróbica, como  
452 evidenciado para adição de 30 % a 40 % de ora-pro-nóbis, com tempos de estabilidade 93,5 e  
453 96 h, respectivamente (Tabela 5), o que se relaciona à ação antifúngica do ácido acético  
454 (Oliveira et al., 2017), com efeito sobre o desenvolvimento de leveduras e fungos filamentos  
455 (Blajman et al., 2018). A utilização de aditivos que estimulem a produção de ácido acético  
456 apresenta vantagens, principalmente em zonas de semiárido e regiões tropicais.

457 Em silagens, são recomendados teores de ácido acético de 10 a 30 g kg<sup>-1</sup> de MS, uma vez  
458 valores superiores a estas concentrações podem resultar em redução na ingestão da silagem  
459 pelos ruminantes (Gerlach et al., 2021). Os valores de ácido acético obtidos em nosso estudo  
460 atendem a esta recomendação, exceto quando da adição de 40 % da cactácea, com 40,77 g  
461 ácido acético kg<sup>-1</sup> de MS. Entretanto, apesar da possibilidade de redução de consumo, a  
462 cactácea ora-pro-nóbis pode contribuir para assegurar melhor valor nutritivo à silagem, por  
463 sua composição em aminoácidos e minerais (Almeida et al., 2014).

464 A adição de ora-pro-nóbis às silagens resultou em menor relação ácido láctico:ácido  
465 acético (AL:AA), também constatado por Sobral et al. (2024) ao adicionar palma forrageira à  
466 silagem de palha de milho, com maior relação AL:AA (1,53) quando da adição de 10 % da  
467 cactácea. Em nosso estudo, a silagem exclusiva de capim-elefante apresentou relação AL:AA

468 1,83 (Tabela 7). Uma relação AL:AA entre 2,5 a 3,0 é indicativo de bom processo  
469 fermentativo, e silagens com relações superiores podem refletir apresentar baixa estabilidade  
470 aeróbica, enquanto relação AL:AA menor que 1,0 decorre de inadequado processo  
471 fermentativo (Kung Jr. et al., 2018), devido as bactérias ácido lácticas heterofermentativas  
472 serem menos eficientes na utilização dos carboidratos solúveis que as homofermentativas  
473 (Kung Jr., 2010).

474 A adição de ora-pro-nóbis às silagens resultou em menor proporção de ácido propiônico  
475 (Tabela 7). Este resultado difere do preconizados por Kung Jr. et al. (2018), cuja proporção de  
476 ácido propiônico deveria ser inferior a 0,1 %, uma vez que valores superiores podem estar  
477 relacionados à atividade bacteriana do gênero *Clostridium propionicum*. Todavia, a presença  
478 do ácido propiônico pode estar associada à melhor estabilidade da silagem (Zhang et al.,  
479 2015), pois possui ação antifúngica e contribui para redução da população de leveduras e  
480 fungos (Chen et al., 2016).

481 A adição de 20 % de ora-pro-nóbis às silagens resultou em menor proporção de ácido  
482 butírico (7,35 g kg<sup>-1</sup> MS) (Tabela 7). A presença de ácido butírico está relacionada a  
483 fermentações indesejáveis, à degradação de proteína e a valores de pH mais elevados  
484 (Driehuis et al., 2018). Os baixos teores de MS das silagens em nosso estudo (Tabela 3)  
485 podem ter influenciado a produção de ácido butírico, o qual é associado ao baixo teor de MS  
486 das silagens (Steinbrenner et al., 2019).

487 Mesmo com baixos teores de MS (Tabela 3), o aumento na proporção de ora-pro-nóbis na  
488 silagem contribuiu para redução no teor do ácido butírico (Tabela 7). Essa redução pode estar  
489 associada à ação antimicrobiana da ora-pro-nóbis (Porto et al., 2022). Outra evidência desta  
490 ação é que mesmo com teores elevados do ácido butírico (Tabela 7), houve redução dos  
491 valores de N-NH<sub>3</sub> (Tabela 6), indicando menor degradação da proteína (Zhang et al., 2015).

492 A redução da população de bactérias ácido lácticas (BAL) com a adição de ora-pro-nóbis  
493 pode estar relacionada à atividade antimicrobiana dos compostos bioativos da ora-pro-nóbis  
494 (Oliveira et al., 2017; Silva et al., 2016). No entanto, apesar desta redução, a concentração de  
495 BAL se manteve em 5,0 a 7,0 log UFC g<sup>-1</sup>, suficiente para garantir eficiente fermentação e  
496 preservação da forragem ensilada (McDonald et al., 1991). De acordo com Weinberg et al.  
497 (1993), quando essa concentração não atinge 5,0 log UFC g<sup>-1</sup> a fermentação fica  
498 comprometida, por favorecer um ambiente para o desenvolvimento de microrganismos  
499 indesejáveis (Li et al., 2022).

500 A redução na população de leveduras quando da adição de ora-pro-nóbis é um aspecto  
501 positivo, considerando-se que as leveduras estão associadas à deterioração aeróbica da  
502 silagem (Pahlow et al., 2003). Essa diminuição das leveduras pode decorrer dos compostos  
503 antifúngicos presentes na ora-pro-nóbis (Torres et al., 2022). Em regiões tropicais e no  
504 semiárido, essa diminuição de leveduras é essencial devido às características climáticas com  
505 alta temperatura ambiente associada à alta umidade da silagem, que estabelece um ambiente  
506 favorável ao desenvolvimento de leveduras e à deterioração aeróbia da silagem após abertura  
507 do silo (Oliveira et al., 2017).

508 A ausência de mofo nas silagens com adição de ora-pro-nóbis pode ser um indicativo do  
509 efeito dos compostos bioativos da ora-pro-nóbis em impedir o desenvolvimento de fungos na  
510 silagem. A presença de mofos em silagem é um aspecto negativo, visto que podem produzir  
511 micotoxinas e comprometer a saúde dos animais alimentados com as silagens mofadas  
512 (Driehuis et al., 2018).

513 A ora-pro-nóbis é conhecida por conter compostos bioativos, como polifenóis,  
514 flavonoides e mucilagens, que possuem propriedades antimicrobianas e antioxidantes (Garcia  
515 et al., 2019; Hoff et al., 2022). Entretanto, esses compostos podem não apresentar a mesma  
516 eficácia contra todos os tipos de microrganismos. Fungos multicelulares, como os mofos, são

517 frequentemente mais resistentes aos compostos antimicrobianos devido à sua parede celular  
518 rica em quitina, que atua como uma barreira protetora (Bowman e Free, 2006; Latgé, 2007;  
519 Lenardon et al., 2010).

520

## 521 5. CONCLUSÃO

522 A adição de 30 % de forragem da cactácea ora-pro-nóbis à forragem de capim-elefante  
523 BRS Capiaçú é uma estratégia viável para melhorar as características fermentativas, a  
524 estabilidade aeróbica e o valor nutritivo da silagem em áreas de semiárido nos trópicos.

525

526

527

## 528 REFERÊNCIAS

529 Agricultural and Food Research Council (AFRC). 1987. Technical Committee on Response to  
530 Nutrients. Report 2: Characterization of Feedstuffs. Nutrition Abstracts and Reviews, Series  
531 B, 57, 713-736.

532 Akmal., N.J., Zain, M., 2018. Ability of dwarf elephant grass (*Pennisetum purpureum* Cv. Mo  
533 tt) and *Gliricidia sepium* to capture ammonia (NH<sub>3</sub>) around chicken cages: An *in vitro* evalu  
534 ation. Pak. J. Nutr.. 17, 306-310. <https://doi.org/10.3923/pjn.2018.306.310>

535 Almeida, M.E.D., Junqueira, A.M.B., Simão, A.A., Corrêa, A.D., 2014. Chemical characteriz  
536 ation of the non-conventional vegetable known as ora-pro-nobis. Biosci. J. 30, 431-439.  
537 <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/17555/14557>

538 Amaral, R.C., Carvalho, B.F., Costa, D.M., Morenz, M.J.F., Schwan, R.F., Ávila, C.L.S., 202  
539 0. Novel lactic acid bacteria strains enhance the conservation of elephant grass silage cv. BR  
540 S Capiaçú. Anim. Feed Sci. Technol. 264, 114472.

541 <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114472>

- 542 Ankom Technology, 2023. *In vitro* true digestibility using the ANKOM DAISY<sup>II</sup> incubator.  
543 Macedon, NY: ANKOM Technology. [https://www.ankom.com/sites/default/files/2024-](https://www.ankom.com/sites/default/files/2024-08/Method_3_InVitro_D200_D200I.pdf)  
544 [08/Method\\_3\\_InVitro\\_D200\\_D200I.pdf](https://www.ankom.com/sites/default/files/2024-08/Method_3_InVitro_D200_D200I.pdf)
- 545 Araújo, J.A.S., Almeida, J.C.C., Reis, R.A., Carvalho, C.A.B., Barbero, R.P., 2020. Harvest p  
546 eriod and baking industry residue inclusion on production efficiency and chemical composit  
547 ion of tropical grass silage. J. Clean. Prod. 266, 121953. [https://doi.org/10.1016/j.jclepro.20](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121953)  
548 [20.121953](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121953)
- 549 Arreola, A.G., Ortiz, M.M., Carrasco, G.P., Saucedo, F.R., Torres, E.H., 2019. Prickly pear cl  
550 adodes. J. Anim. Plant Sci. 40, 6544-6553. [https://www.m.elewa.org/Journals/wp-](https://www.m.elewa.org/Journals/wp-content/uploads/2019/04/4.Gonzalez.pdf)  
551 [content/uploads/2019/04/4.Gonzalez.pdf](https://www.m.elewa.org/Journals/wp-content/uploads/2019/04/4.Gonzalez.pdf)
- 552 Bach, A., Calsamiglia, S., Stern, M.D., 2005. Nitrogen metabolism in the rumen. J. Dairy Sci.  
553 88, E9-E21. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)73133-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)73133-7)
- 554 Backes, A.A., Santos, L.L., Fagundes, J.L., Barbosa, L.T., Mota, M., Vieira, J.S., 2014. Nutrit  
555 ional value of maniçoba ("*Manihot pseudoglaziovii*") silage with and without corn meal as a  
556 dditive. R. Bras. Saúde Prod. Anim. 15, 182-191.  
557 <https://www.scielo.br/j/rbspa/a/ZCVkMqsNqXnRTgcxrxLDq9x/?lang=pt>
- 558 Bangar, S.P., Suri, S., Trif, M., Ozogul, F., 2022. Organic acids production from lactic acid ba  
559 cteria: A preservation approach. Food Biosci. 46, 101615. [https://doi.org/10.1016/j.fbio.202](https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101615)  
560 [2.101615](https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101615)
- 561 Berchielli, T.T., Pires, A.V., Oliveira, S.G., 2011. Nutrição de Ruminantes, 2nd ed., Funep,  
562 Jaboticabal.
- 563 Bernardes, T.F., Reis, R.A., Siqueira, G.R., Amaral, R.C., Pires, A.J.V., 2007. Aerobic  
564 stability of total mixed ration and marandu grass silage using microbial or chemical  
565 additive. R. Bras. Zootec. 36, 754-762. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982007000400002>

- 566 Blajman, J.E., Páez, R.B., Vinderola, C.G., Lingua, M.S., Signorini, M.L., 2018. A meta-  
567 analysis on the effectiveness of homofermentative and heterofermentative lactic acid  
568 bacteria for corn silage. *J. Appl. Microbiol.* 125, 1655-1669.  
569 <https://doi.org/10.1111/jam.14084>
- 570 Bolsen, K.K., Lin, C., Brent, B.E., Feyerherm, A.M., Urban, J.E., Aimutis, W.R., 1992. Effect  
571 of silage additives on the microbial succession and fermentation process of alfalfa and corn  
572 silages. *J. Dairy Sci.* 75, 3066-3083. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(92\)78070-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(92)78070-9)
- 573 Bowman, S.M., Free, S.J., 2006. The structure and synthesis of the fungal cell  
574 wall. *Bioessays*, 28, 799-808. <https://doi.org/10.1002/bies.20441>
- 575 Brito, G.S.M.S., Santos, E.M., Araújo, G.G.L., Oliveira, J.S., Zanine, A.M., Perazzo, A.F., Ca  
576 mpos, F.S., Lima, A.G.V.O.,  
577 Cavalcanti, H.S., 2020. Mixed silages of cactus pear and gliricidia: chemical composition, f  
578 ermentation characteristics, microbial population and aerobic stability. *Sci. Rep.* 10, 6834. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-63905-9>
- 580 Campos, F.S., Gois, G.C., Vicente, S.L.A., Macedo, A., Matias, A.G.S., 2017. Alternative  
581 forage for goats and sheep raised in semiarid. *Nutritime R. Eletr.* 14, 5004-5013.  
582 <https://nutritime.com.br/wp-content/uploads/2020/02/Artigo-416.pdf>
- 583 Cândido, M.J.D., Neiva, J.N.M., Rodriguez, N.M., Ferreira, A.C.H., 2007. Fermentative  
584 patterns and chemical composition of elephant grass silages with dehydrated passionfruit  
585 byproduct. *R. Bras. Zootec.* 36, 1489-1494. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982007000700005>
- 587 Cao, Y., Wang, D., Wang, L., Wei, X., Li, X., Cai, C., Lei, X., Yao, J., 2021. Physically  
588 effective neutral detergent fiber improves chewing activity, rumen fermentation, plasma  
589 metabolites, and milk production in lactating dairy cows fed a high-concentrate diet. *J.*  
590 *Dairy Sci.* 104, 5631-5642. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19012>

- 591 Chapman, D.F., Lee, J.M., Waghorn, G.C., 2014. Interaction between plant physiology and  
592 pasture feeding value: a review. *Crop Pasture Sci.* 65, 721-734.  
593 <https://doi.org/10.1071/CP13379>
- 594 Chen, L., Gou, G., Yuan, X., Zhang, J., Li, J., Shao, T., 2016. Effects of applying molasses,  
595 lactic acid bacteria and propionic acid on fermentation quality, aerobic stability and *in vitro*  
596 gas production of total mixed ration silage prepared with oat-common vetch intercrop on the  
597 Tibetan Plateau. *J. Sci. Food Agric.* 96, 1678-1685. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7271>
- 598 Cherney, J.H., Cherney, D.J.R., 2003. Assessing silage quality, Chapter 4, in: Buxton, D.R.,  
599 Muck, R.E., Harrison, J.H. (Eds.), *Silage Science and Technology*, ASA, CSSA, SSSA,  
600 Madison, WI, pp. 141-198. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr42.c4>
- 601 Chio, C., Sain, M., Qin, W., 2019. Lignin utilization: A review of lignin depolymerization  
602 from various aspects. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 107, 232-249.  
603 <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.03.008>
- 604 Ciríaco, A.C.A., Mendes, R.M., Carvalho, V.S., 2023. Antioxidant activity and bioactive  
605 compounds in ora-pro-nobis flour (*Pereskia aculeata* Miller). *Braz. J. Food Technol.* 26,  
606 e2022054. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.05422>
- 607 Cunha, D.S., Rodrigues, J.M.C.S., Costa, C.J.P., Lima, R.S., Araújo, C.A., Oliveira, G.F.,  
608 Campos, F.S., Magalhães, A.L.R., Araújo,  
609 G.G.L., Gois, G.C., 2022. Mineral profile, carbohydrates fractionation, nitrogen compounds  
610 and *in vitro* gas production of elephant grass silages associated with cactus pear. *Bull. Natl.*  
611 *Res. Cent.* 46, 257. <https://doi.org/10.1186/s42269-022-00948-0>
- 612 Detmann, E., Souza, M.A., Valadares Filho, S.C., Queiroz, A.C., Berchielli, T.T., Saliba,  
613 E.O.S., Azevedo, J.A.G., 2012. *Methods for Food Analysis*, National Institute of Science  
614 and Technology of Animal Science, Visconde do Rio Branco.

- 615 Driehuis, F., Wilkinson, J.M., Jiang, Y., Ogunade, I., Adesongan, A.T., 2018. Silage review:  
616 Animal and human health risks from silage. *J. Dairy Sci.* 101, 4093-4110.  
617 <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13836>
- 618 Du Toit, A., De Wit, M., Hugo, A., 2018. Cultivar and harvest month influence the nutrient  
619 content of *Opuntia* spp. cactus pear cladode mucilage extracts. *Molecules*, 23, 916.  
620 <https://doi.org/10.3390/molecules23040916>
- 621 DuBois, M., Gilles, K.A., Hamilton, J.K., Rebers, P.A., Smith, F., 1956. Colorimetric method  
622 for determination of sugars and related substances. *Anal. Chem.* 28, 350-356.  
623 <https://doi.org/10.1021/ac60111a017>
- 624 Ferreira, C.P., Lima, M.C., Silva, J.G., Araújo, N.M.P., 2024. Nutritional composition  
625 phenolic compounds and biological activities of selected unconventional food plants. *Food*  
626 *Res. Int.* 191, 114643. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114643>
- 627 Ferreira, D.J., Lana, R.P., Zanine, A.M., Santos, E.M., Veloso, C.M., Ribeiro, G.A., 2013.  
628 Silage fermentation and chemical composition of elephant grass inoculated with rumen  
629 strains of *Streptococcus bovis*. *Anim. Feed Sci. Technol.* 183, 22-28.  
630 <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2013.04.020>
- 631 Gänzle, M.G., 2015. Lactic metabolism revisited: Metabolism of lactic acid bacteria in food  
632 fermentations and food spoilage. *Curr. Opin. Food Sci.* 2, 106-117.  
633 <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2015.03.001>
- 634 Garcez Neto, A.F., Santos, T.M., Silva, J., Fernandes, S.R., 2021. Effect of whey permeate  
635 and *Lactobacillus buchneri* on biomass conservation, chemical characteristics and aerobic  
636 stability of elephant grass silage. *Waste Biomass Valori.* 12, 879-  
637 893. <https://doi.org/10.1007/s12649-020-01035-z>
- 638 Garcia, J.A.A., Corrêa, R.C.G., Barros, L., Pereira, C., Abreu, R.M.V., Alves, M.J., Calhelha,  
639 R.C., Bracht, A., Peralta, R.M., Ferreira, I.C.F.R., 2019. Phytochemical profile and

- 640 biological activities of ‘ora-pro-nóbis’ leaves (*Pereskia aculeata* Miller), an underexploited  
641 superfood from the Brazilian Atlantic Forest. *Food Chem.* 294, 302-308.  
642 <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.074>
- 643 Gerlach, K., Daniel, J.L.P., Jobim, C.C., Nussio, L.G., 2021. A data analysis on the effect of  
644 acetic acid on dry matter intake in dairy cattle. *Anim. Feed Sci. Technol.* 272, 114782.  
645 <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114782>
- 646 Goff, H.D., Guo, Q., 2019. The role of hydrocolloids in the development of food structure, in:  
647 Spyropoulos, F., Lazidis, A., Norton, I. (Eds.), *Handbook of food structure development*,  
648 Royal Society of Chemistry, Cambridge, pp. 1-28. [https://doi.org/10.1039/9781788016155-](https://doi.org/10.1039/9781788016155-00001)  
649 [00001](https://doi.org/10.1039/9781788016155-00001)
- 650 Gomes, A.L.M., Bueno, A.V.I., Osmari, M.P., Machado, J., Nussio, J.G., Jobim, C.C., Daniel,  
651 J.L.P., 2021. Effects of obligate heterofermentative lactic acid bacteria alone or in  
652 combination on the conservation of sugarcane silage. *Front. Microbiol.* 12, 643878.  
653 <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.643879>
- 654 González, G., Rodríguez, A.A., 2003. Effect of storage method on fermentation  
655 characteristics, aerobic stability, and forage intake of tropical grasses ensiled in round bales.  
656 *J. Dairy Sci.* 86, 926-933. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73675-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73675-3)
- 657 Hoff, R., Daguer, H., Deolindo, C.T.P., Melo, A.P.Z., Durigon, J., 2022. Phenolic compounds  
658 profile and main nutrients parameters of two underestimated non-conventional edible  
659 plants: *Pereskia aculeata* Miller. (ora-pro-nóbis) and *Vitex megapotamica* (Spreng.)  
660 Moldenke (tarumã) fruits. *Food Res. Int.* 162, 112042.  
661 <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112042>
- 662 Hristov, A.N., Bannink, A., Crompton, L.A., Huhtanen, P., Kreuzer, M., McGee, M., Nozière,  
663 P., Reynolds, C.K., Bayat, A.R., Yáñez-Ruiz, D.R., Dijkstra, J., Kebreab, E., Schwarm, A.,  
664 Shingfield, K.J., Yu, Z., 2019. Invited review: Nitrogen in ruminant nutrition: A review of

- 665 measurement techniques. J. Dairy Sci. 102, 5811-5852. [https://doi.org/10.3168/jds.2018-](https://doi.org/10.3168/jds.2018-15829)  
666 [15829](https://doi.org/10.3168/jds.2018-15829)
- 667 Jayanegara, A., Ridla, M., Laconi, E.B., Nahrowi, 2019. Elephant grass, rice straw and maize  
668 silage as feeds: A dynamic modelling approach on their degradation kinetics. IOP Conf.  
669 Ser.: Earth Environ. Sci. 387, 012002. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/387/1/012002>
- 670 Jobim, C.C., Nussio, L.G., Reis, R.A., Schmidt, P., 2007. Methodological advances in  
671 evaluation of preserved forage quality. R. Bras. Zootec. 36, 101-119.  
672 <https://doi.org/10.1590/S1516-35982007001000013>
- 673 Jobim, C.C., Sarti, L.L., Santos, G.T., Branco, A.F., Cecato, U., 2006. Animal performance  
674 and economic return from replacing corn silage by elephant grass silage in Holstein  
675 cow diets. Acta Sci. Anim. Sci. 28, 137-143.  
676 <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=303126481012>
- 677 Jung, H.G., Deetz, D.A., 1993. Cell wall lignification and degradability, in: Jung, H.G.,  
678 Buxton, D.R., Hatfield, R.D., Ralph, J. Forage cell wall structure and digestibility, ASA,  
679 CSSA, SSSA, Madison, WI, pp. 315-346. <https://doi.org/10.2134/1993.foragecellwall.c13>
- 680 Kung Jr., L., 2010. Aerobic stability of silage, in: Proc. 40<sup>th</sup> California Alfalfa & Forage  
681 Symposium, Visalia, CA.  
682 <https://alfalfasyposium.ucdavis.edu/+symposium/proceedings/2010/10-89.pdf>
- 683 Kung Jr., L., Ranjit, N.K., 2001. The effect of *Lactobacillus buchneri* and other additives on  
684 the fermentation and aerobic stability of barley silage. J. Dairy Sci. 84, 1149-1155.  
685 [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(01\)74575-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)74575-4)
- 686 Kung Jr., L., Shaver, R.D., Grant, R.J., Schmidt, R.J., 2018. Silage review: Interpretation of  
687 chemical, microbial, and organoleptic components of silages. J. Dairy Sci. 101, 4020-4033.  
688 <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13909>

- 689 Lai, L.S., Liang, H.Y., 2012. Chemical compositions and some physical properties of the  
690 water and alkali-extracted mucilage from the young fronds of *Asplenium australasicum* (J.  
691 Sm.) Hook. Food Hydrocoll. 26, 344-349. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.03.003>
- 692 Latgé, J.P., 2007. The cell wall: A carbohydrate armour for the fungal cell. Mol.  
693 Microbiol. 66, 279-290. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2958.2007.05872.x>
- 694 Latimer Jr., G.W., 2023. Official Methods of Analysis of AOAC International, 22nd ed,  
695 AOAC International, New York.
- 696 Lemos, M.F., Andrade, A.P., Quadros, B.D.G., Silva, P.H.F., Santos, C.O., Souza, C.F.B.,  
697 Silva, M.A.V., Medeiros, A.S., Oliveira Neto, P.M., 2020. Nutritional value, fermentation  
698 losses and aerobic stability of elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum.) silage treated  
699 with exogenous fibrolytic enzymes. Acta Sci. Anim. Sci. 42, e48272.  
700 <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v42i1.48272>
- 701 Lenardon, M.D., Munro, C.A., Gow, N.A.R., 2010. Chitin synthesis and fungal  
702 pathogenesis. Curr. Opin. Microbiol. 13, 416-423.  
703 <https://doi.org/10.1016/j.mib.2010.05.002>
- 704 Li, D., Ni, K., Zhang, Y., Lin, Y., Yang, F., 2018. Fermentation characteristics, chemical  
705 composition and microbial community of tropical forage silage under different  
706 temperatures. Asian-Australas. J. Anim. Sci. 32, 665-674.  
707 <https://doi.org/10.5713/ajas.18.0085>
- 708 Li, Y., Silva, E.B., Li, J., Kung Jr., L., 2022. Effect of homo-fermentative lactic acid bacteria  
709 inoculants on fermentation characteristics and bacterial and fungal communities in alfalfa  
710 silage. Fermentation, 8, 621. <https://doi.org/10.3390/fermentation8110621>
- 711 Licitra, G., Hernandez, T.M., Van Soest, P.J., 1996. Standardization of procedures for nitrogen  
712 fractionation of ruminant feeds. Anim. Feed Sci. Technol. 57, 347-358.  
713 [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(95\)00837-3](https://doi.org/10.1016/0377-8401(95)00837-3)

- 714 Lise, C.C., Marques, C., Cunha, M.A.A., Mitterer-Daltoé, M.L., 2021. Alternative protein  
715 from *Pereskia aculeata* Miller leaf mucilage: technological potential as an emulsifier and  
716 fat replacement in processed mortadella meat. *Eur. Food Res. Technol.*, 247, 851-863.  
717 <https://doi.org/10.1007/s00217-020-03669-8>
- 718 Liu, Q., Luo, L., Zheng, L., 2018. Lignins: Biosynthesis and biological functions in plants.  
719 *Int. J. Mol. Sci.* 19, 335. <https://doi.org/10.3390/ijms19020335>
- 720 Maciel, V.B.V., Bezerra, R.Q., Chagas, E.G.L., Yoshida, C.M.P., Carvalho, R.A., 2021. Ora-  
721 pro-nobis (*Pereskia aculeata* Miller): A potential alternative for iron supplementation and  
722 phytochemical compounds. *Braz. J. Food Technol.* 24, e2020180  
723 <https://doi.org/10.1590/1981-6723.18020>
- 724 Makarewicz, M., Drożdż, I., Tarko, T., Duda-Chodak, A., 2021. The interactions between  
725 polyphenols and microorganisms, especially gut microbiota. *Antioxidants*, 10, 188.  
726 <https://doi.org/10.3390/antiox10020188>
- 727 Makkar, H.P.S., 2003. Effects and fate of tannins in ruminant animals, adaptation to tannins,  
728 and strategies to overcome detrimental effects of feeding tannin-rich feeds. *Small Rumin.*  
729 *Res.* 48, 241-256. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(03\)00142-1](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(03)00142-1)
- 730 McDonald, P., Henderson, A.R., Heron, S.J.E., 1991. *The Biochemistry of Silage*, 2nd ed.,  
731 Chalcomb Publications, Reino Unido.
- 732 Mello, R., Nörnberg, J.L., 2004. Fractionation of carbohydrate and protein of corn, sorghum  
733 and sunflower silages. *Cienc. Rural* 34, 1537-1542. [https://doi.org/10.1590/S0103-](https://doi.org/10.1590/S0103-84782004000500033)  
734 [84782004000500033](https://doi.org/10.1590/S0103-84782004000500033)
- 735 Mertens, D.R., 1994. Regulation of forage intake, in: Fahey, G.C., Collins, M., Moser, L.E.,  
736 Mertens, D.R. (Eds.), *Forage Quality, Evaluation, and Utilization*, American Society of  
737 Agronomy, Portland, pp. 828-868. <https://doi.org/10.2134/1994.foragequality.c11>
- 738 Millen, D.D., Arrigoni, M.D.B., Pacheco, R.D.L., 2016. *Rumenology*, Springer, Berlin.

- 739 Monção, F.P., Costa, M.A.M.S., Rigueira, J.P.S., Sales, E.C.J., Leal, D.B., Silva, M.F.P.,  
740 Gomes, V.M., Chamone, J.M.A., Alves, D.D., Carvalho, C.C.S., Murta, J.E.J., Rocha  
741 Júnior, V.R., 2020. Productivity and nutritional value of BRS capiaçu grass (*Pennisetum*  
742 *purpureum*) managed at four regrowth ages in a semiarid region. Trop. Anim. Health Prod.  
743 52, 235-241. <https://doi.org/10.1007/s11250-019-02012-y>
- 744 Moran, J.P., Weinberg, Z.G., Ashbell, G., Hen, Y., Owen, T.R., 1996. A comparison of two  
745 methods for the evaluation of the aerobic stability of whole crop wheat silage, in: 11<sup>th</sup>  
746 International Silage Conference, University of Wales, Aberystwyth, pp. 162-163.
- 747 Mueller-Harvey, I., 2006. Unravelling the conundrum of tannins in animal nutrition and  
748 health. J. Sci. Food Agric., 86, 2010-2037. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2577>
- 749 National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (NASEM), 2021. Nutrient  
750 Requirements of Dairy Cattle, 8th ed. The National Academies Press, Washington, DC.  
751 <https://doi.org/10.17226/25806>
- 752 Nogueira, M.S., Araújo, G.G.L., Santos, E.M., Gonzaga Neto, S., Oliveira, J.S., Perazzo,  
753 A.F., Zanine, A.M., Pinho, R.M.A., Corrêa, Y.M., Pereira, D.M., 2019. Feed alternatives  
754 with cactus forage silage for animal nutrition, Intl. J. Agric. Biol. 22, 1393-1398.  
755 [https://api.fspublishers.org/viewPaper/1577440816\\_19%20doi%2015.1213%20IJAB-19-  
756 0456%20\(6\)%201393-1398.pdf](https://api.fspublishers.org/viewPaper/1577440816_19%20doi%2015.1213%20IJAB-19-0456%20(6)%201393-1398.pdf)
- 757 Oliveira, A.S., Weinberg, Z.G., Ogunade, I.M., Cervantes, A.A.P., Arriola, K.G., Jiang, Y.,  
758 Kim, D., Li, X., Gonçalves, M.C.M., Vyas, D., Adesogan, A.T., 2017. Meta-analysis of  
759 effects of inoculation with homofermentative and facultative heterofermentative lactic acid  
760 bacteria on silage fermentation, aerobic stability, and the performance of dairy cows. J.  
761 Dairy Sci. 100, 4587-4603. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11815>
- 762 Oliveira, D.M., Mota, T.R., Salatta, F.V., Sinzker, R.C., Končítíková, R., Kopečný, D.,  
763 Simester, R., Silva, M., Goeminne, G., Morreel, K., Rencoret, J., Gutiérrez, A., Tryfona, T.,

- 764 Marchiosi, R., Dupree, P., Del Rio, J.C., Boerjan, W., McQueen-Mason, S.J., Gomez, L.D.,  
765 Ferrarese-Filho, O., Santos, W.D., 2020. Cell wall remodeling under salt stress: Insights  
766 into changes in polysaccharides, feruloylation, lignification and phenolic metabolism in  
767 maize. *Plant, Cell Environ.* 43, 2172-2191. <https://doi.org/10.1111/pce.13805>
- 768 Othman, M., Ariff, A.B., Rios-Solis, L., Halim, M., 2017. Extractive fermentation of lactic  
769 acid in lactic acid bacteria cultivation: A review. *Front. Microbiol.* 8, 2285.  
770 <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02285>
- 771 Pahlow, G., Muck, R.E., Driehuis, F., Elferink, S.J.W.H.O., Spoelstra, S. F., 2003.  
772 Microbiology of ensiling, in: Buxton, D.R., Muck, R.E., Harrison, J.H. (Eds.), *Silage*  
773 *Science and Technology*, ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI, pp. 31-93.  
774 <https://doi.org/10.2134/agronmonogr42.c2>
- 775 Pazla, R., Jamarun, N., Agustin, F., Zain, M., Arief, Cahyani, N.O., 2021. *In vitro* nutrient  
776 digestibility, volatile fatty acids and gas production of fermented palm fronds combined  
777 with tithonia (*Tithonia diversifolia*) and elephant grass (*Pennisetum purpureum*). *IOP Conf.*  
778 *Ser.: Earth Environ. Sci.* 888, 012067. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/888/1/012067>
- 779 Pereira, A.V., Lédo, F.J.S., Machado, J.C., 2017. BRS kurumi and BRS capiaçu - new  
780 elephant grass cultivars for grazing and cut-and-carry system. *Crop Breed. Appl.*  
781 *Biotechnol.* 17, 59-62. <https://doi.org/10.1590/1984-70332017v17n1c9>
- 782 Pereira, A.V., Lira, M.A., Machado, J.C., Gomide, C.A.M., Martins, C.E., Lédo, F.J.S.,  
783 Daher, R.F., 2021. Elephantgrass, a tropical grass for cutting and grazing. *Rev. Bras. Cienc.*  
784 *Agrar.* 16, e9317. <https://doi.org/10.5039/agraria.v16i3a9317>
- 785 Piekarska-Radzik, L., Klewicka, E., 2021. Mutual influence of polyphenols and *Lactobacillus*  
786 spp. bacteria in food: A review. *Eur. Food Res. Technol.* 247, 9-24.  
787 <https://doi.org/10.1007/s00217-020-03603-y>

- 788 Pinto., N.C.C., Scio, E., 2014. The biological activities and chemical composition of *Pereskia*  
789 species (*Cactaceae*) – A review. *Plant Foods Hum. Nutr.* 69, 189-195.  
790 <https://doi.org/10.1007/s11130-014-0423-z>
- 791 Playne, M.J., McDonald, P., 1966. The buffering constituents of herbage and of silage. *J. Sci.*  
792 *Food Agric.* 17, 264-268. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740170609>
- 793 Porto, F.G.S., Campos, Â.D., Carreño, N.L.V., Garcia, I.T.S., 2022. *Pereskia aculeata* leaves:  
794 Properties and potentialities for the development of new products. *Natural Product*  
795 *Research*, 36, 4821-4832. <https://doi.org/10.1080/14786419.2021.2010070>
- 796 Queiroz, O.C.M., Ogunade, I.M., Weinberg, Z., Adesogan, A.T., 2018. Silage review:  
797 Foodborne pathogens in silage and their mitigation by silage additives. *J. Dairy Sci.* 101,  
798 4132-4142. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13901>
- 799 Ramos, B.L.P., Pires, A.J.V., Cruz, N.T., Santos, A.P.S., Nascimento, L.M.G., Santos, H.P.,  
800 Amorim, J.M.S., 2021. Losses in the silage process: A brief review. *Res., Soc. Dev.* 10,  
801 e8910514660. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i5.14660>
- 802 Ribeiro, L.S.O., Pires, A.J.V., Carvalho, G.G.P., Pereira, M.L.A., Santos, A.B., Rocha, L.C.,  
803 2014. Fermentation characteristics, chemical composition and fractionation of  
804 carbohydrates and crude protein of silage of elephant grass wilted or with addition of castor  
805 bean meal. *Semina: Cienc. Agrar.* 35, 1447-1462. [https://doi.org/10.5433/1679-](https://doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n3p1447)  
806 [0359.2014v35n3p1447](https://doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n3p1447)
- 807 Russell, J.B., O'Connor, J.D., Fox, D.G., Van Soest, P.J., Sniffen, C.J., 1992. A net  
808 carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: I. Ruminant fermentation. *J.*  
809 *Anim. Sci.* 70, 3551-3561. <https://doi.org/10.2527/1992.70113551x>
- 810 Sánchez-Duarte, J.I., García, Á., 2017. Ammonia-N concentration in alfalfa silage and its  
811 effects on dairy cow performance: A meta-analysis. *R. Colomb. Cienc. Pecu.* 30, 175-184.  
812 <http://www.scielo.org.co/pdf/rccp/v30n3/0120-0690-rccp-30-03-00175.pdf>

- 813 Santana, J.C.S., Morais, J.A.S., Santos, M.S.A.A., Gurgel, A.L.C., Muniz, E.N., Oliveira,  
814 V.S., 2019. Fermentation characteristics, chemical composition and protein fractioning of  
815 gliricidia silage submitted to different fermentation periods. Bol. Ind. Anim. 76, e1436.  
816 <https://bia.iz.sp.gov.br/index.php/bia/article/view/1530/1458>
- 817 Santos, P.P.A., Ferrari, G.S., Rosa, M.S., Almeida, K., Araújo, L.A., Pereira, M.H.C.,  
818 Wanderley, M.E.F., Morato, P.N., 2022. Development and characterization of high protein  
819 functional ice cream with ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata* Miller) and inulin. Braz. J. Food  
820 Technol. 25, e2020129. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.12920>
- 821 Shi, R., Dong, S., Mao, J., Wang, J., Cao, Z., Wang, Y., Li, S., Zhao, G., 2023. Dietary  
822 neutral detergent fiber levels impacting dairy cows' feeding behavior, rumen fermentation,  
823 and production performance during the period of peak-lactation. Animals, 13, 2876.  
824 <https://doi.org/10.3390/ani13182876>
- 825 Silva, D.L.G., Giroto, L.M., Souza, S.B.S., Porciuncula, B.D.A., Barros, B.C.B., 2024.  
826 Evaluation of hot-air drying conditions of ora-pro-nobis leaves: Effects on bioactive  
827 compounds and powder properties. Food and Humanity, 3, 100359.  
828 <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2024.100359>
- 829 Silva, N.F.N., Silva, S.H., Baron, D., Neves, I.C.O., Casanova, F., 2023. *Pereskia aculeata*  
830 Miller as a novel food source: A review. Foods, 12, 2092.  
831 <https://doi.org/10.3390/foods12112092>
- 832 Silva, V.P., Pereira, O.G., Leandro, E.S., Silva, T.C., Ribeiro, K.G., Mantovani, H.C., Santos,  
833 S.A., 2016. Effects of lactic acid bacteria with bacteriocinogenic potential on the  
834 fermentation profile and chemical composition of alfalfa silage in tropical conditions. J.  
835 Dairy Sci., 99, 1895-1902. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9792>

- 836 Sniffen, C.J., O'Connor, J.D., Van Soest, P.J., Fox, D.G., Russell, J.B., 1992. A net  
837 carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein  
838 availability. *J. Anim. Sci.* 70, 3562-3577. <https://doi.org/10.2527/1992.70113562x>
- 839 Sobral, G.C., Oliveira, J.S., Santos, E.M., Araújo, G.G.L., Santos, F.N.S., Campos, F.S.,  
840 Cavalcanti, H.S., Vieira, D.S., Leite, G.M., Coelho, D.F.O., Santana, L.P., Gomes, P.G.B.,  
841 Trres Júnior, P.C., Santos, M.A.C., Viana, N.B., 2024. Optimizing silage quality in  
842 drylands: Corn stover and forage cactus mixture on nutritive value, microbial activity, and  
843 aerobic stability. *J. Arid Environ.* 220, 105123.  
844 <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2024.105123>
- 845 Sousa, N.M., Oliveira, J.S., Silva, D.S., Santos, E.M., Medeiros, A.N., Ramos, J.P.F., Brito,  
846 E.A., 2018. Levels of neutral detergent fiber in diets with forage palm for dairy goats. *Arq.*  
847 *Bras. Med. Vet. Zootec.* 70, 1595-1604. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-10181>
- 848 Steinbrenner, J., Nägele, H.J., Buschmann, A., Hülsemann, B., Oechsner., H., 2019. Testing  
849 different ensiling parameters to increase butyric acid concentration for maize silage,  
850 followed by silage separation and methane yield potential of separated solids residues.  
851 *Bioresour. Technol. Rep.* 7, 100193. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2019.100193>
- 852 Takeiti, C.Y., Antonio, G.C., Motta, E.M.P., Collares-Queiroz, F.P., Park, K.J., 2009.  
853 Nutritive evaluation of a non-conventional leafy vegetable (*Pereskia aculeata* Miller). *Int. J.*  
854 *Food Sci. Nutr.* 60, 148-160. <https://doi.org/10.1080/09637480802534509>
- 855 Teixeira, V.M.C., Oliveira, A.D., Backes, E., Souza, C.G.M.D., Castoldi, R., Sá-Nakanishi,  
856 A.B.D., Peralta, R.M., 2023. A critical appraisal of the most recent investigations on ora-  
857 pro-nobis (*Pereskia* sp.): Economical, botanical, phytochemical, nutritional, and  
858 ethnopharmacological aspects. *Plants* 12, 3874. <https://doi.org/10.3390/plants12223874>
- 859 Torres, T.M.S., Álvarez-Rivera, G., Mazzutti, S., Sánchez-Martínez, J.D., Cifuentes, A.,  
860 Ibáñez, E., Ferreira, S.R.S., 2022. Neuroprotective potential of extracts from leaves of ora-

- 861 pro-nobis (*Pereskia aculeata*) recovered by clean compressed fluids. J. Supercrit. Fluids,  
862 179, 105390. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2021.105390>
- 863 Truong, N.B., Van Thu, N., 2022. A study of dietary neutral detergent fiber levels on nutrient  
864 intake, digestibility and growth performance of Charolais crossbred cattle in the Mekong  
865 delta of Vietnam. Adv. Anim. Vet. Sci. 10, 1317-1324.  
866 <https://dx.doi.org/10.17582/journal.aavs/2022/10.6.1317.1324>
- 867 Wang, S., Yuan, X., Dong, Z., Li, J., Guo, G., Bai, Y., Zhang, J., Shao, T., 2017.  
868 Characteristics of isolated lactic acid bacteria and their effects on the silage quality. Asian-  
869 Australas. J. Anim. Sci. 30, 819-827. <https://doi.org/10.5713/ajas.16.0589>
- 870 Weinberg, Z.G., Ashbell, G., Hen, Y., Azrieli, A., 1993. The effect of applying lactic acid  
871 bacteria at ensiling on the aerobic stability of silages. J. Appl. Microbiol. 75, 512-518.  
872 <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.1993.tb01588.x>
- 873 Zeng, W.W., Lai, L.S., 2016. Characterization of the mucilage extracted from the edible  
874 fronds of bird's nest fern (*Asplenium australasicum*) with enzymatic modifications. Food  
875 Hydrocoll. 53, 84-92. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.03.026>
- 876 Zhang, J., Guo, G., Chen, L., Li, J., Yuan, X., Yu, C., Shimojo, M., Shao, T., 2015. Effect of  
877 applying lactic acid bacteria and propionic acid on fermentation quality and aerobic stability  
878 of oats-common vetch mixed silage on the Tibetan plateau. Anim. Sci. J. 86, 595-602.  
879 <https://doi.org/10.1111/asj.12340>
- 880 Zotta, T., Ricciardi, A., Ianniello, R.G., Storti, L.V., Glibota, N.A., Parente, E., 2018. Aerobic  
881 and respirative growth of heterofermentative lactic acid bacteria: A screening study. Food  
882 Microbiol. 76, 117-1227. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2018.02.017>

883 Tabela 2 Composição química da forragem de capim-elefante BRS capiaçu e ora-pro-nóbis.

Itens	Ora-pro-nóbis	Capim-elefante
Matéria seca <sup>a</sup> (g kg <sup>-1</sup> MN)	148,3	229,7
g kg <sup>-1</sup> MS		
Proteína bruta	180,0	73,0
Extrato etéreo	21,4	10,2
Cinza	110,1	50,3
FDNcp	526,7	706,8
FDA	326,6	441,8
CNF	161,8	159,7
CHOs	64,39	73,53
LIG	86,4	53,2

884 FDNcp = Fibra em detergente neutro corrigida para cinza e proteína; FDA = Fibra em detergente ácido; CNF =  
885 carboidrato não fibroso; CHOs = carboidratos solúveis; LIGc = lignina; MN = matéria natural.

886

887

888

889

890

891

892

893

894

895

896

897

898

899

900

901

902

903 Tabela 3 Composição química e digestibilidade *in vitro* das silagens exclusiva de capim-  
 904 elefante BRS capiaçu e com adição ora-pro-nóbis.

Itens	Proporção de ora-pro-nóbis (% MN)					SEM	P-value	
	0	10	20	30	40		L	Q
Matéria seca <sup>a</sup> (g kg <sup>-1</sup> MN) g kg <sup>-1</sup> MS	200,5	220,6	208,4	193,9	184,1	0,29	0,0014	0,0001
Proteína bruta <sup>b</sup>	41,0	62,7	63,0	85,6	95,2	0,44	0,0001	0,0001
Extrato etéreo <sup>c</sup>	16,4	16,4	15,1	16,6	20,9	0,05	0,0062	0,0001
Cinza <sup>d</sup>	66,8	61,1	64,0	73,7	73,7	0,14	0,0029	0,0017
FDNcp <sup>e</sup>	711,7	698,1	702,7	695,2	657,3	0,47	0,0001	0,0001
FDA <sup>f</sup>	465,9	458,7	454,0	440,6	424,2	0,37	0,0001	0,0001
CNF <sup>g</sup>	164,1	161,7	155,2	128,9	152,9	0,33	0,0004	0,0011
LIG <sup>h</sup>	51,0	51,4	51,1	55,3	62,1	0,11	0,0001	0,0001
DIVMS	544,4	548,8	546,9	573,6	535,9	0,45	0,8104	0,3427
DIVPB <sup>i</sup>	772,6	820,0	823,2	848,3	866,3	0,77	0,0001	0,0001
DIVFDN	432,9	456,3	463,3	440,3	422,5	0,72	0,4830	0,1307

905 FDNcp = Fibra em detergente neutro corrigida para cinza e proteína; FDA = Fibra em  
 906 detergente ácido; CNF = carboidrato não fibroso; LIG = lignina; DIVMS = Digestibilidade *in*  
 907 *vitro* da matéria seca; DIVFDN = Digestibilidade *in vitro* fibra em detergente neutro; DIVPB  
 908 = Digestibilidade *in vitro* da proteína; MN = matéria natural; SEM = erro padrão da média; L  
 909 = efeito linear; Q = efeito quadrático.

910 <sup>a</sup>Y = -0,00438x<sup>2</sup> + 0,11664x + 20,45457 (R<sup>2</sup> = 0,7873)

911 <sup>b</sup>Y = 0,13125x + 4,32100 (R<sup>2</sup> = 0,9374)

912 <sup>c</sup>Y = 0,00080357x<sup>2</sup> - 0,02289x + 1,68271 (R<sup>2</sup> = 0,7159)

913 <sup>d</sup>Y = -0,00128x<sup>2</sup> + 0,02479x + 93,48743 (R<sup>2</sup> = 0,5283)

914 <sup>e</sup>Y = -0,00434x<sup>2</sup> + 0,0687x + 70,66579 (R<sup>2</sup> = 0,7190)

915 <sup>f</sup>Y = -0,10155x + 46,89200 (R<sup>2</sup> = 0,7891)

916 <sup>g</sup>Y = 0,00174x<sup>2</sup> - 0,14293x + 16,9814 (R = 0,5534)

917 <sup>h</sup>Y = 0,00124x<sup>2</sup> - 0,02337x + 5,13836 (R<sup>2</sup> = 0,8559)

918 <sup>i</sup>Y = 0,21570x + 78,29450 (R<sup>2</sup> = 0,8360)

919

920

921

922

923

924

925

926

927

928

929

930

931

932 Tabela 4 Frações de carboidratos e compostos nitrogenados das silagens exclusiva de capim-  
 933 elefante BRS capiaçu e com adição ora-pro-nóbis.

Itens	Proporção de ora-pro-nóbis (% MN)					SEM	P-value	
	0	10	20	30	40		L	Q
<b>Carboidratos<sup>1</sup> g kg<sup>-1</sup>MS</b>								
A + B1	187,5	188,1	181,0	156,4	188,9	0,36	0,2708	0,1636
B2 <sup>a</sup>	380,4	430,2	391,9	335,0	279,5	1,21	0,0001	0,0001
C <sup>b</sup>	432,1	381,8	427,2	508,6	531,6	1,30	0,0001	0,0001
<b>Compostos nitrogenados<sup>2</sup> g kg<sup>-1</sup>MS</b>								
A	474,4	383,5	266,2	539,2	256,8	3,47	0,2660	0,5484
B1 + B2	337,7	460,7	584,4	345,7	581,3	3,56	0,1436	0,3179
B3	48,7	65,8	53,8	22,7	73,4	1,06	0,9355	0,8710
C <sup>c</sup>	139,2	90,0	95,6	92,4	88,5	0,51	0,0036	0,0005

934 <sup>1</sup>Com base nos carboidratos totais (CHOT); <sup>2</sup>Com base no Nitrogênio total (NT). MN = matéria natural SEM =  
 935 erro padrão da média; L = efeito linear; Q = efeito quadrático.

936 <sup>a</sup> $Y = -0,01636x^2 + 0,35733x + 39,00781$  ( $R^2 = 0,9046$ )

937 <sup>b</sup> $Y = 0,01304x^2 - 0,19562x + 41,71498$  ( $R^2 = 0,8091$ )

938 <sup>c</sup> $Y = 0,00584x^2 - 0,33266x + 13,26143$  ( $R^2 = 0,5951$ )

939

940

941

942

943

944

945

946

947

948

949

950

951

952

953

954

955

956

957

958 Tabela 5 Perda fermentativa e estabilidade aeróbica das silagens exclusiva de capim-elefante  
 959 BRS capiaçu e com adição ora-pro-nóbis.

Itens	Proporção de ora-pro-nóbis (% MN)					SEM	<i>P-value</i>	
	0	10	20	30	40		L	Q
<b>Perdas de matéria seca</b>								
PG (g kg <sup>-1</sup> MS) <sup>a</sup>	142,2	30,9	24,0	49,1	64,0	1,02	0,0518	0,0001
PE (kg/t MN) <sup>b</sup>	65,3	37,5	33,4	45,3	42,8	2,56	0,0358	0,0001
PMS (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>c</sup>	92,1	37,3	30,3	41,9	47,5	0,52	0,0177	0,0001
<b>Estabilidade aeróbica</b>								
Tmax (°C) <sup>d</sup>	27	27,5	27	27	26	0,12	0,0017	0,0001
Horas <sup>e</sup>	63,5	42	38	93,5	> 96	5,65	0,0013	0,0001

960 PG = perda de gases; PE = perda de efluentes = PMS: perda de matéria seca; MS = matéria seca; MV =  
 961 matéria verde; SEM = erro padrão da média; L = efeito linear; Q = efeito quadrático.

962  $^aY = 0,02031x^2 - 0,95049x + 13,03107$  ( $R^2 = 0,7807$ )

963  $^bY = 0,04755x^2 - 2,27441x + 61,81538$  ( $R^2 = 0,7296$ )

964  $^cY = 0,00988x^2 - 0,47993x + 8,65979$  ( $R^2 = 0,8002$ )

965  $^dY = -0,00179x^2 + 0,04643x + 27,04286$  ( $R^2 = 0,7389$ )

966  $^eY = 0,07679x^2 - 1,90643x + 58,714$  ( $R^2 = 0,7203$ )

967

968

969

970

971

972

973

974

975

976

977

978

979

980

981

982

983

984

985

986 Tabela 6 Perfil fermentativo das silagens exclusiva de capim-elefante BRS capiaçu com  
 987 adição de ora-pro-nóbis.

Itens	Proporção de ora-pro-nóbis (% MN)					SEM	P-value	
	0	10	20	30	40		L	Q
pH <sup>a</sup>	4,00	4,20	4,45	4,58	4,60	0,05	0,0001	0,0001
CT <sup>b</sup> (e.mg/100 g MS)	29,93	45,32	61,63	70,49	77,66	4,03	0,0001	0,0001
N-NH <sub>3</sub> /NT <sup>c</sup> (%)	5,37	6,48	5,85	4,49	3,77	0,23	0,0003	0,0001

988 CT = Capacidade tampão; e.mg = equivalente miligrama de álcali; N-NH<sub>3</sub> = Nitrogênio amoniacal; NT =  
 989 Nitrogênio total; MN = matéria natural; SEM = erro padrão da média; L = efeito linear; Q = efeito quadrático.

990 <sup>a</sup>Y = 0,01575x + 4,05000 (R<sup>2</sup> = 0,8816)

991 <sup>b</sup>Y = 1,20622x + 32,88093 (R<sup>2</sup> = 0,9412)

992 <sup>c</sup>Y = -0,00312x<sup>2</sup>+0,07281x+5,60557 (R<sup>2</sup> = 0,8039)

993

994

995

996

997

998

999

1000

1001

1002

1003

1004

1005

1006

1007

1008

1009

1010

1011

1012

1013

1014 Tabela 7 Ácido orgânicos e população microbiana das silagens exclusiva de capim-elefante  
 1015 BRS capiaçu e com adição ora-pro-nóbis.

Itens	Proporção de ora-pro-nóbis (% MN)					SEM	P-value	
	0	10	20	30	40		L	Q
<b>Ácido orgânicos g kg<sup>-1</sup>MS</b>								
Ácido lático	26,26	11,51	34,16	8,00	9,37	2,89	0,0654	0,1501
Ácido acético <sup>a</sup>	14,32	18,20	22,22	24,49	40,77	2,44	0,0001	0,0001
AL: AA <sup>b</sup>	1,83	0,63	1,54	0,33	0,23	0,18	0,0013	0,0071
Ácido propiônico <sup>c</sup>	10,50	6,28	12,33	2,82	3,72	1,01	0,0111	0,0342
Ácido butírico <sup>d</sup>	17,41	15,33	7,35	14,55	12,19	0,95	0,0959	0,0308
<b>População microbiana (log UFC g)</b>								
BAL <sup>e</sup>	6,33	6,35	6,14	6,29	5,45	0,09	0,0028	0,0004
Mofos	3,00	2,36	0,00	3,15	3,00	0,60	0,8473	0,5413
Levedura <sup>f</sup>	5,65	5,44	2,06	0,00	0,00	0,62	0,0001	0,0001

1016 AL= ácido lático; AA= ácido acético; BAL= bactéria ácido láctica; MN= matéria natural SEM = erro padrão da  
 1017 média; L = efeito linear; Q = efeito quadrático.

1018 <sup>a</sup>Y: 0,59192x + 12,16033 (R<sup>2</sup> = 0,8395)

1019 <sup>b</sup>Y: -0,03510x + 1,61301 (R<sup>2</sup> = 0,5609)

1020 <sup>c</sup>Y: -0,17030x + 10,53400 (R<sup>2</sup> = 0,4023)

1021 <sup>d</sup>Y: 0,01044x<sup>2</sup>-0,5976x+17,69510 (R<sup>2</sup> = 0,4402)

1022 <sup>e</sup>Y: -0,00293x + 1,86958 (R<sup>2</sup> = 0,4008)

1023 <sup>f</sup>Y: -0,07082x+2,55758 (R<sup>2</sup> = 0,7560)

1024

1025

1026

1027

1028

1029

1030

1031

1032

1033

1034

1035

1036

1037

1038

1039

1040

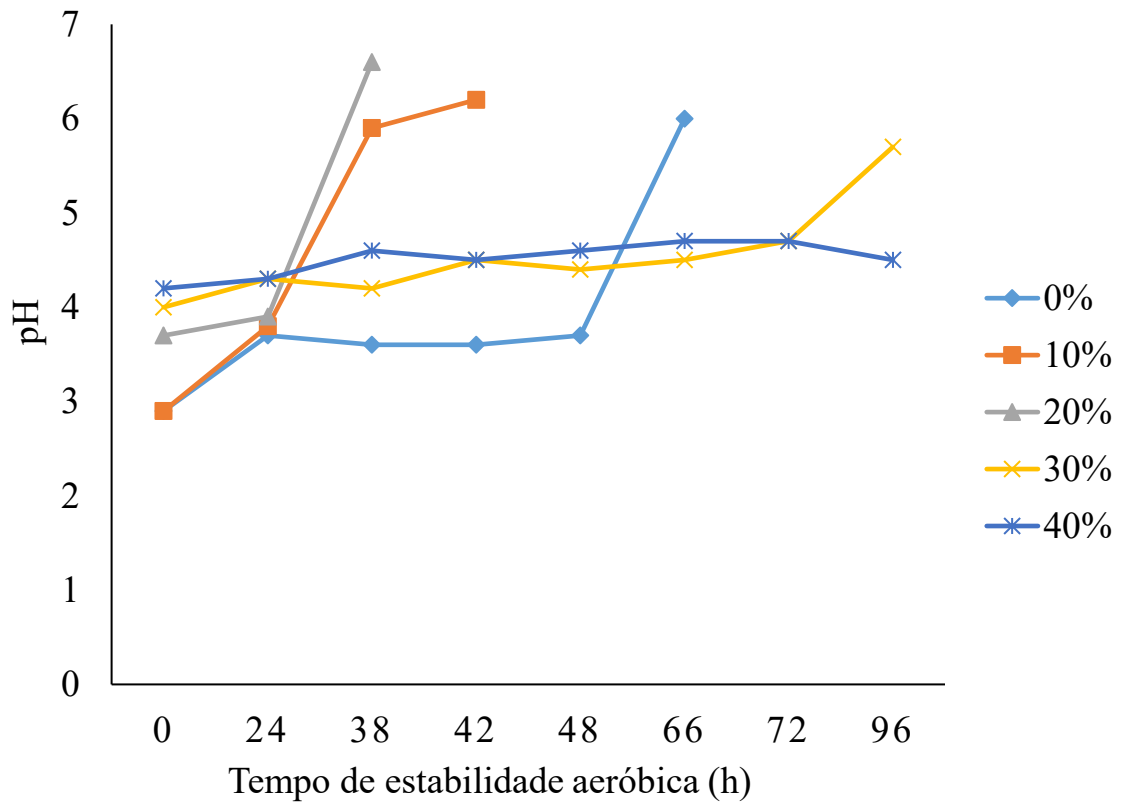
1041

1042

1043

1044

1045 Figura 1. pH da silagem exclusiva de capim-elefante BRS capiaçu (0 %) e com adição de ora-  
1046 pro-nóbis associado à estabilidade aeróbica.



1047  
1048  
1049  
1050  
1051  
1052  
1053  
1054  
1055  
1056  
1057  
1058  
1059  
1060  
1061  
1062  
1063  
1064