



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

DANILLO MARTE PEREIRA

**PALMA FORRAGEIRA COMO ADITIVO PARA SILAGEM UTILIZADAS NA
ALIMENTAÇÃO DE RUMINANTES**

AREIA

2022

DANILLO MARTE PEREIRA

**PALMA FORRAGEIRA COMO ADITIVO PARA SILAGENS UTILIZADAS NA
ALIMENTAÇÃO DE RUMINANTES**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal da Paraíba, Universidade Federal do Ceará como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Zootecnia.

Comitê de Orientação:

Orientador: Prof. Dr. Edson Mauro Santos (CCA/UFPB)

Coorientadora: Profa. Dr. Juliana Silva de Oliveira (CCA/UFPB).

Coorientador: Prof. Dr. Felipe Queiroga Cartaxo (UEPB)

AREIA

2022

Catálogo de Publicação na Fonte. UFPB - Biblioteca Setorial do CCA-AREIA

P436p Pereira, Danillo Marte.

Palma forrageira como aditivo para silagem
utilizadas na alimentação de ruminantes / Danillo Marte
Pereira. - Areia:UFPB/CCA, 2022.
111 f.

Orientação: Edson Mauro Santos.

Coorientação: Juliana Silva de Oliveira, Felipe
Queiroga Cartaxo.

Tese (Doutorado) - UFPB/CCA.

1. Zootecnia. 2. Comportamento ingestivo. 3. Dorper.
4. Ensilagem. 5. Perfil fermentativo. I. Santos, Edson
Mauro. II. Oliveira, Juliana Silva de. III. Cartaxo,
Felipe Queiroga. IV. Título.

UFPB/CCA-AREIA

CDU 636(043.2)



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

PARECER DE DEFESA DO TRABALHO DE TESE

TÍTULO: “PALMA FORRAGEIRA COMO ADITIVO PARA SILAGENS UTILIZADAS NA ALIMENTAÇÃO ANIMAL”

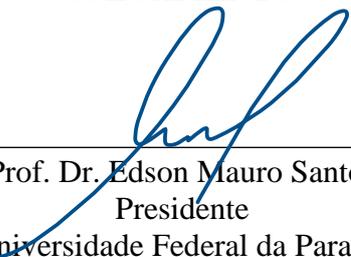
AUTOR: DANILLO MARTE PEREIRA

ORIENTADOR: PROF. DR. EDSON MAURO SANTOS

JULGAMENTO

CONCEITO: APROVADO

EXAMINADORES:



Prof. Dr. Edson Mauro Santos
Presidente
Universidade Federal da Paraíba



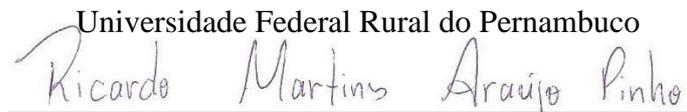
Prof. Dr. Ossival Lolato Ribeiro
Examinador
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia



Prof. Dr. Aníbal Coutinho do Rêgo
Examinador
Universidade Federal Rural da Amazônia



Prof. Dr. Fleming Sena Campos
Examinador

Universidade Federal Rural do Pernambuco


Prof. Dr. Ricardo Martins Araújo Pinho
Examinador
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará

Areia, 20 de agosto de 2021

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

DAILLO MARTE PEREIRA, filho de Francisco Dinarte da Silva Pereira e Ana Zélia Marte Bernardo, nasceu em 09 de agosto de 1990 em São Paulo - SP. No ano de 2011 ingressou no curso de Zootecnia da Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias, *Campus* II, Areia – PB, obtendo o título de Zootecnista em julho de 2016. Em novembro de 2016 iniciou o mestrado em Zootecnia no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, da Universidade Federal da Paraíba, obtendo o título de mestre em Zootecnia em 12 de março de 2018. No ano de 2018 iniciou o Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, da Universidade Federal da Paraíba, concentrando seus estudos nas áreas de Produção e Conservação de Forragem, Nutrição e Produção de Ruminantes.

*“Ó, Mestre, fazei que eu procure mais, consolar, que ser consolado;
compreender, que ser compreendido; amar, que ser amado.
Pois, é dando que se recebe, e perdoando que se é perdoado, e é
morrendo que se vive para a vida eterna” (São Francisco de Assis)*

A Deus e a Nossa Senhora por toda a proteção e benção.

A vovó Mariinha (In memoriam) por todo amor e amizade.

A minha mãe Ana Zélia Marte Bernardo e a meu pai Francisco Dinarte da Silva

Pereira por todo amor e dedicação a mim e aos meus irmãos.

*A minha amada esposa Yasmim Silva dos Santos Marte por todo amor e
companheirismo e ao nosso príncipe, Francisco Silva Pereira Marte, presente
de Deus em nossas vidas.*

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e por se fazer presente em minha vida e na vida de toda minha família.

A Nossa Senhora, por me adotar como filho e por sempre passar na frente na hora dos momentos de aflição.

A Universidade Federal da Paraíba e Programa de Pós-Graduação em Zootecnia por toda minha vida acadêmica, tenho muito orgulho.

Ao meu amigo e orientador, professor Edson Mauro Santos por quem tenho muito apreço e respeito, por toda amizade e conselhos dados. Obrigado por sempre me incentivar e pela valiosa orientação, não só na acadêmica, mas também na vida.

A minha amiga e coorientadora professora Juliana Silva de Oliveira, por quem tenho grande estima. Obrigado por todo incentivo, conselhos e confiança.

Ao meu amigo Alexandre Fernandes Perazzo por toda amizade e debates sobre silagem (kkkkkk). Obrigado por fazer parte dessa história, você foi fundamental para minha formação, além de ser um amigo muito especial.

Aos meus amigos e examinadores professor Ossival Lolato Ribeiro e Fleming Sena Campos, por quem tenho muita admiração e carinho.

Ao professor Aníbal Coutinho do Rêgo por ter aceitado o convite de participar da minha defesa de tese. Agradeço imensamente.

Aos meus amigos/irmãos, Francisco Naysson, Thiago Morais, Guilherme Leite e Raniere que tive o privilégio de dividir a república e sempre pude contar com ajuda. Só tenho o que agradecer a paciência e pelos momentos de descontração e seriedade. Obrigado por estarem sempre do meu lado, amo vocês.

Aos meus amigos/irmãos, Yohana Rosaly e Elber Vitor por todo apoio desde o início da graduação. Amo vocês!

Ao Grupo de Estudos em Forragicultura, o qual tenho o privilégio de ser membro a 8 anos.

Aos membros antigos e novos do Grupo de Estudos em Forragicultura que tive privilégio de conviver e aprender. Obrigado pelos momentos de alegria durante a execução dos trabalhos. Muito obrigado a todos!

A toda minha família, em especial a minha mãe Ana Zélia Marte e ao meu pai Francisco Dinarte Pereira, e aos meus irmãos Danielle Marte, Daniel Marte, Brenda Santos, Pamela Santos e Jordana Santos por todo apoio e amor. Amo vocês!

A minha esposa Yasmim Marte por me acompanhar desde o início da graduação, me apoiando e incentivando, não existe palavra que expresse toda a gratidão que tenho a você, te amo meu amor!!

Ao meu amado filho Francisco Marte, o maior presente de Deus na minha vida. Te amo filho!

A minha vó Maria Marte (vovó Mariinha) por todo amor, sem sua ajuda e orações não estaria vivendo esse momento. A senhora nos faz muita falta, te amo!

SUMÁRIO

Resumo Geral.....	14
General Abstract.....	16
Introdução Geral.....	18
Referências.....	22

CAPÍTULO I

Resumo.....	28
Abstract.....	29
Introdução.....	30
Material e Métodos.....	31
Resultados.....	35
Discussão.....	38
Conclusão.....	43
Referências.....	43

CAPÍTULO II

Resumo.....	50
Abstract.....	51
Introdução.....	52
Material e Métodos.....	53
Resultados.....	58
Discussão.....	68
Conclusão.....	74
Referências.....	74

CAPÍTULO III

Resumo.....	82
Abstract.....	83
Introdução.....	84
Material e Métodos.....	85
Resultados.....	92
Discussão.....	97
Conclusão.....	103
Referências.....	103

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1. Composição química do material antes da ensilagem.....	34
Tabela 2. Contagem microbiana em função dos níveis de palma forrageira na silagem mista.....	36
Tabela 3. Perfil fermentativo da silagem em função dos níveis de palma forrageira na silagem mista.....	36
Tabela 4. Perdas e recuperação de matéria seca em função dos níveis de palma forrageira na silagem mista.....	37
Tabela 5. Variáveis relacionadas a estabilidade aeróbia da silagem em função dos níveis de palma forrageira na silagem mista.....	37
Tabela 6. Composição química da silagem em função dos níveis de palma forrageira na silagem mista.....	38

CAPÍTULO II

Tabela 1. Composição química, pH e contagem microbiana das misturas antes da ensilagem.....	55
Tabela 2. Efeito de interação em função dos níveis de matéria seca e períodos de abertura sobre a população de leveduras da silagem.....	59
Tabela 3. Efeitos isolados na silagem de grão de milho reidratado com palma em função dos níveis de matéria seca e períodos de abertura.....	60
Tabela 4. Efeito de interação em função dos níveis de matéria seca e períodos de abertura sobre as perdas por efluente, gases e recuperação de matéria seca durante o processo de ensilagem.....	62
Tabela 5. Efeito de interação em função dos níveis de matéria seca e períodos de abertura sobre a estabilidade aeróbia da silagem.....	63
Tabela 6. Efeito de interação em função dos níveis de matéria seca e períodos de abertura sobre a contagem de BAL, Mofo e leveduras após o ensaio de estabilidade aeróbia da silagem.....	68

CAPÍTULO III

Tabela 1. Composição química dos ingredientes das silagens na forma de ração em g/kg de matéria seca.....	89
---	----

Tabela 2. Proporções dos ingredientes e composição química das silagens na forma de ração com base na matéria seca.....	89
Tabela 3. População microbiana, perfil fermentativo e o tempo de estabilidade aeróbia das silagens na forma de ração.....	93
Tabela 4. Perdas e recuperação de matéria seca das silagens na forma de ração.....	94
Tabela 5. Valores médios de consumo de nutrientes das silagens na forma de ração.....	94
Tabela 6. Valores médios da digestibilidade aparente dos nutrientes e nutrientes digestíveis totais das silagens na forma de ração.....	95
Tabela 7. Valores médios das variáveis de desempenho produtivo dos ovinos alimentados com as silagens na forma de ração.....	96
Tabela 8. Tempo despendido em alimentação, ruminação e ócio (minutos), número de bolos por dia, número mastigações por bolos ruminados, tempo médio em mastigações por bolo ingerido (segundos) e número de mastigações por minuto e mastigação total por dia dos cordeiros alimentados com as silagens da forma de ração.....	96
Tabela 9. Eficiência de alimentação e ruminação (g MS e FDN/hora), número de períodos de alimentação, ruminação e ócio (Nº/dia) e tempo em minutos despendido por período de alimentação, ruminação e ócio dos cordeiros alimentados com as silagens na forma de ração.....	97

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO II

- Figura 1. Valores médios dos níveis de MS das silagens de grão de milho reidratado com palma forrageira de acordo com os períodos de abertura dos silos para fração solúvel (A); fração insolúvel potencialmente degradável (B) e matéria seca potencialmente degradável (C).....67
- Figura 2. Valores médios dos níveis de MS das silagens de grão de milho reidratado com palma forrageira de acordo com os períodos de abertura dos silos para degradabilidade efetiva (2%/hora) (A); degradabilidade efetiva (5%/hora) (B) e degradabilidade efetiva (8%/hora) (C).....68

RESUMO GERAL

Este estudo envolveu três experimentos. No primeiro, objetivou-se identificar o nível de palma forrageira na mistura que proporcione um bom perfil microbiológico, bem como diminua as perdas durante o processo de ensilagem, otimizando a recuperação de matéria seca e estabilidade aeróbia das silagens mistas. Utilizou-se um delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), composto por cinco tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram representados pela inclusão de palma forrageira na ensilagem do sorgo forrageiro: 0; 25; 50; 75 e 100% de palma forrageira na matéria natural da mistura. Houve efeito quadrático crescente ($P < 0,05$) nas contagens de bactérias do ácido láctico (BAL) e recuperação de matéria seca (RMS), com valores máximos estimados nos níveis de 51,8 e 33,5% de palma forrageira na silagem, respectivamente. Observou-se efeito quadrático decrescente ($P < 0,05$) para perdas por gases (PG), com o menor valor estimado no nível de 37,9% de palma na silagem. Houve efeito linear crescente ($P < 0,05$) para perdas por efluente (PE), tempo em que as silagens atingiram a temperatura máxima (HTM), estabilidade aeróbia (EA) das silagens e nos teores de extrato etéreo (EE) e carboidrato não fibroso (CNF). Por outro lado, houve efeito linear decrescente ($P < 0,05$) na contagem de mofos, temperatura máxima da silagem (TM), nos teores de matéria seca (MS), proteína bruta (PB) e fibra em detergente neutro (FDN) das silagens mistas. Ao utilizar-se a palma forrageira na confecção de silagens mistas com sorgo, recomenda-se o nível de 50% de palma forrageira, otimizando a recuperação de matéria seca e estabilidade aeróbia, sem afetar o valor nutritivo da silagem. O segundo experimento, teve como objetivo avaliar os efeitos da palma forrageira como aditivo umidificador sobre as características fermentativas, microbiológicas, estabilidade aeróbia, composição química e degradabilidade ruminal *in situ* da silagem de grão de milho em diferentes tempos de abertura. Utilizou-se um delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 4×3 composto por quatro níveis de matéria seca (MS) (50; 60; 70 e 80 % de MS) e três períodos de aberturas (30; 60 e 120 dias após a ensilagem). Houve efeito de interação ($P < 0,05$) entre os níveis de MS da silagem de grão de milho reidratado com palma forrageira e os períodos de abertura sobre a população de leveduras da silagem, perdas por efluente (PE), PG, RMS, EA e de níveis de palma sobre as populações de BAL, mofos e leveduras, após o ensaio de EA. A degradabilidade *in situ* da MS da massa ensilada aumentou após o processo de ensilagem em todos os níveis e períodos de abertura avaliados. Ao utilizar a palma forrageira como aditivo umidificador do grão de milho, recomenda-se o nível de 60% de MS quando o tempo de permanência da massa ensilada no silo for igual ou inferior a 120 dias e 70% de MS quando for 120 dias após a ensilagem. No terceiro experimento, objetivou-se avaliar as características fermentativas da silagem na forma de ração à base de palma forrageira e torta de algodão e seu efeito sobre o desempenho produtivo e comportamento ingestivo de ovinos em confinamento. O estudo foi dividido em dois ensaios experimentais, ambos distribuídos DIC. O primeiro ensaio experimental avaliou a qualidade fermentativa das silagens na forma de ração (SFR), com cinco repetições por tratamento e o segundo avaliou o desempenho produtivo e comportamento ingestivo dos ovinos, com oito repetições por tratamento, sendo os tratamentos representados pelas proporções torta de algodão na SFR (0; 20; 25 e 30% de torta de algodão, com base na matéria seca). Observou-se diferença significativa ($P < 0,05$) entre as SFR para população de leveduras, pH, perda por gases (PG), perda por efluente (PE), recuperação de matéria seca (RMS), consumo de extrato etéreo (CEE), digestibilidade da matéria seca (DMS), matéria orgânica (DMO), proteína bruta (DPB), extrato etéreo (DEE), fibra em detergente neutro (DFDN), carboidrato não fibroso (DCNF), nutrientes digestíveis totais (NDT) e para todas as variáveis de comportamento ingestivo, exceto para as de alimentação. Assim a palma forrageira assegura a qualidade fermentativa e higiênica das silagens na forma de ração, independentemente das proporções de torta de

algodão. Portanto, com base no desempenho produtivo e comportamento ingestivo dos ovinos da raça Dorper terminados em confinamento, recomenda-se a silagem na forma de ração com 30% de torta de algodão.

Palavras-chave: comportamento ingestivo; desempenho; dorper; ensilagem; perfil fermentativo

GENERAL ABSTRACT

This study involved three experiments. In the first, the objective was to identify the optimal level of ideal forage cactus in the mixture that provides a good microbiological profile, as well as reducing losses during the ensiling process, optimizing dry matter recovery and aerobic stability of mixed silages. The experimental design consisted of a completely randomized design, consisting of five treatments and four replications. The treatments were represented by the inclusion of spineless cactus in the forage sorghum silage: 0; 25; 50; 75 and 100% of forage cactus in the natural matter of the mixture. There was an increasing quadratic effect ($P < 0.05$) on lactic acid bacteria counts (LAB) and dry matter recovery (DMR), estimating maximum values at levels of 51.8 and 33.5% of forage cactus in the silage. However, there was a decreasing quadratic effect ($P < 0.05$) for gas losses (GL), with the lowest value being estimated at the level of 37.9% of forage cactus in silage. There was an increasing linear effect ($P < 0.05$) for effluent losses (EL), time in which the silages reached the maximum temperature (TMT), aerobic stability (AS) of the silages and in the levels of ether extract (EE) and non-fibrous carbohydrate (NFC). However, there was a decreasing linear effect ($P < 0.05$) on mold count, maximum silage temperature (MT), dry matter (DM), crude protein (CP) and neutral detergent fiber (NDF) contents of the silages mixed. When using the forage cactus in the confection of mixed silages with sorghum, it is recommended the 50% level of forage cactus, optimizing the recovery of dry matter and aerobic stability, without affecting the nutritive value of the silage. The second experiment aimed to evaluate the effects of forage cactus as humidifier additive on fermentative, microbiological, aerobic stability, chemical composition and *In situ* ruminal degradability of corn grain silage at different opening times. The experimental design consisted of a completely randomized design in a 4×3 factorial scheme was used, consisting of four levels of dry matter (DM) (50; 60; 70 and 80% DM) and three opening periods (30; 60 and 120 days after ensiling). There was an interaction effect ($P < 0.05$) between DM levels of maize grain silage rehydrated with forage cactus and the opening periods on the silage yeast population, effluent losses (EL), gas losses (GL), dry matter recovery (DMR), aerobic stability (AS) and forage cactus levels on lactic acid bacteria (LAB) populations, molds and yeasts, after the AS test. The DM *In situ* degradability of the ensiled mass increased after the ensiling process at all levels and opening periods evaluated. When using forage cactus as a humidifying additive for corn grain, the 60% DM level is recommended when the permanence time of the ensiled mass in the silo is equal to or less than 120 days and 70% DM when it is 120 days after the silage. In the third experiment, the objective was to evaluate the fermentative characteristics of silage total mixed ration based on forage cactus and cotton cake and its effect on the productive performance and ingestive behavior of sheep in confinement. The study was divided into two experimental trials, both distributed in a completely randomized experimental design. The first experimental trial evaluated the fermentative quality of silages total mixed ration (TMR), with five repetitions per treatment, and the second evaluated the productive performance and ingestive behavior of the sheep, with eight repetitions per treatment, with the treatments represented by the pie proportions of cotton cake in the TMR (0; 20; 25 and 30% cotton cake, based on dry matter). There was a significant difference ($P < 0.05$) between the TMR for yeast population, pH, gas losses (GL), effluente losses (EL), dry matter recovery (DMR), ether extract intake (EEI), dry matter digestibility (DMD), organic matter (OMD), crude protein (CPD), ether extract (EED), neutral detergent fiber (NDFD), non-fibrous carbohydrate (NFCD), total digestible nutrients (TDN) and for all ingestive behavior variables, except for feeding. Thus, forage cactus ensures the fermentative and hygienic quality of the silages in the form of feed, regardless of the proportions of cotton cake. Therefore, based on the productive performance and ingestive behavior of Dorper sheep feedlot, it is recommended silage as feed with 30% cotton cake.

Keywords: dorper; fermentation profile; ingestive behavior; performance; silage

INTRODUÇÃO GERAL

As regiões Áridas e Semiáridas representam 55% do território mundial, perfazendo 2/3 da superfície total de 150 países e abrangendo ao redor de 700 milhões de pessoas. No âmbito do Brasil, o Semiárido abrange 70% da área do Nordeste, mais o norte de Minas Gerais. A região é coberta por solos rasos de baixa fertilidade e caracterizada pela vegetação da Caatinga. Os problemas básicos dessa região são a escassez e a irregularidade de chuvas, além de ciclicamente ocorrer estiagens prolongadas, com reflexos diretos na economia e com custos sociais elevados (Cândido et al., 2016).

Em função das características edafoclimáticas da região, a pecuária baseia-se no cultivo, utilização e conservação de plantas adaptadas ao estresse hídrico, denominadas de plantas xerófilas. Dessa maneira, em função de suas características xerófilas, a palma surge como uma importante forrageira utilizada na alimentações de animais das regiões Semiáridas e Áridas distribuídas em todo território mundial.

A palma forrageira pertence à família das Cactaceae, compreendendo aproximadamente 130 gêneros e 2.000 espécies (Beccaro et al., 2014). Essa denominação “palma forrageira” é utilizada no Brasil para designar tanto cultivares de *Opuntia ficus indica* como de *Nopalea cochenillifera*, espécies originárias do México. A sua utilização como recurso forrageiro para os animais no Nordeste do país foi bem posterior, passando a ser amplamente cultivada e utilizada nos sistemas de produção do Nordeste Brasileiro (Simões et al., 2005).

Esta espécie forrageira caracteriza-se pelo seu metabolismo fotossintético CAM (Crassulacean Acid Metabolism). Assim, essas plantas, possuem o mecanismo adaptativo de permanecer com seus estômatos fechados durante o dia, para evitar a perda de água, e abertos durante a noite, para permitir a entrada e fixação do CO₂, o que eleva a sua eficiência do uso da água (Rocha, 2012). Portanto, é esse mecanismo de captação do CO₂ atmosférico e seu metabolismo, que lhe confere a habilidade e eficiência fotossintética, convertendo o CO₂ capturado à ácido málico e armazenando-os nos vacúolos das células do clorênquima. Esse processo ocorre durante a noite e durante o dia esse ácido armazenado é descarboxilado e volta a forma molecular de CO₂ já fixado na célula. Esse CO₂ é liberado no interior da célula para realizar o processo fotossintético durante o dia e durante todo esse processo diurno seus estômatos permanecem fechados, diminuindo significativamente a perda de água para a atmosfera (Pimenta et al., 1993).

Além disso, a palma forrageira, destaca-se por seu elevado potencial de produção de biomassa, podendo apresentar variações de produtividade de 10 a 40 t ha⁻¹ de matéria seca (MS)

em condições de sequeiro (Lopes et al., 2012), bem como apresenta até 90% de água em sua composição, o que garante a dessedentação dos rebanhos durante os meses de seca do ano, além de ser um alimento rico em carboidratos não fibrosos (CNF), pectina e minerais, tornando-se uma importante fonte de energia para os ruminantes (Lopes et al., 2018; Bispo et al., 2007). Adicionalmente, a palma forrageira possui em sua composição química baixas concentrações de MS, fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) e proteína bruta (PB) (Costa et al., 2012). O seu uso em elevadas proporções ou individualmente pode causar distúrbios nutricionais, acarretando em fezes amolecidas, pois geralmente a sua concentração de fibra não é suficiente para manter as condições adequadas das funções ruminais, devendo ser fornecida aos animais associada a uma fonte de fibra juntamente com uma fonte de proteína (Rodrigues et al., 2016).

Recentemente pesquisas revelam que a falta de fibra fisicamente efetiva em dietas com altas proporções de palma forrageira por si só não foi capaz de explicar a ocorrência de diarreia em ruminantes (Barros et al. 2017; Cordova-torres et al. 2017). Outros autores relataram que a ocorrência de diarreia em ruminantes pode estar associada a intoxicação desses animais com oxalato, decorrente do metabolismo secundário da palma forrageira (Ben Salem et al., 2002). Entretanto, o teor de oxalato presente na palma forrageira (0,169% da MS) (Batista et al., 2009), está abaixo do máximo de 2% recomendado por Rahman et al. (2013) para causar intoxicação. Além disso, microrganismos ruminais são capazes de metabolizar oxalato quando ingerido em pequenas quantidades (Aslani et al. 2011).

De acordo com Paulino et al. (2021), a manifestação de diarreia em ruminantes alimentados com altas proporções de palma na dieta podem estar associada a falta de higiene durante o manejo alimentar desses animais, o que aumenta a contaminação e a ingestão de grupos de bactérias patogênicas via ração. Como agravante, a ingestão excessiva de palma forrageira propicia um ambiente ruminal mais ácido, devido a conversão via fermentação dos CNF da planta a ácido láctico no ambiente ruminal, acidificando o meio (Marques et al. 2017). Segundo Sato et al. (2016), o ambiente ruminal moderadamente ácido permite a proliferação de Enterobactérias, principalmente da espécie *E. Coli*, principal responsável por promover diarreia nos animais.

A técnica da ensilagem pode ser utilizada no intuito de minimizar os problemas relacionados a proliferação de Enterobactérias no fornecimento da palma forrageira *in natura*, visto que os carboidratos solúveis em água (CSA), presentes na planta, são convertidos a ácido láctico, fazendo com que haja redução no pH da massa ensilada e inibindo a proliferação de microrganismos indesejáveis, como enterobactérias e bactérias do gênero *Clostridium* (Silva et al., 2017).

Embora McDonald et al. (1991) relatem que as forrageiras utilizadas no processo de ensilagem devem possuir teor de matéria seca (MS) de 300 – 350 g/Kg⁻¹ e no mínimo de 60 – 120 g/Kg⁻¹ de carboidrato solúveis em água (CSA) e, considerando-se que, essa recomendação seja relevante para determinar a planta que será conservada na forma de silagem, tal recomendação não se aplica para a palma forrageira (Nogueira et al., 2019; Sá et al., 2020; Brito et al., 2020)

Nogueira et al. (2019) avaliando os efeitos do farelo de trigo (0; 50; 100 e 200 g/Kg⁻¹ de MS) e da ureia (10 g/Kg⁻¹ de MS) no perfil fermentativo, perdas na ensilagem e composição química da silagem de palma forrageira, constataram que a adição de farelo de trigo e ureia reduziu as perdas por gases e a contagem de mofo e leveduras e aumentou a população de bactérias do ácido láctico (BAL) das silagens. Os mesmos autores observaram que a silagem de palma forrageira sem adição de farelo de trigo e ureia apresentou elevada contagem de BAL (7,80 Log₁₀ UFC/g⁻¹ de silagem), resultando em um adequado perfil fermentativo.

Sá et al. (2021) avaliando as características fermentativas e a qualidade da silagem de palma forrageira aditivada com ureia ou *Lactobacillus Buchneri*, observaram que após 120 dias de fermentação, a silagem sem aditivo apresentou valores de pH, nitrogênio amoniacal (N-NH₃), recuperação de matéria seca (RMS) e população de BAL de 4,85, 0,09 g/Kg⁻¹, 964,40 g/Kg⁻¹ e 7,50 log₁₀/g⁻¹ de silagem, respectivamente, demonstrando que a palma forrageira pode ser amplamente conservada na forma de silagem.

Para se obter sucesso na confecção da silagem de palma forrageira, alguns cuidados devem ser levados em consideração no momento da ensilagem, como: a idade da planta, devido a quantidade de mucilagem estar relacionada a idade do palmar, de modo que, quanto mais jovem menor será a quantidade de mucilagem em seus cladódios (Gusha et al., 2013; Nogueira et al., 2019). Essa mucilagem é formada por polissacarídeos (ramnose, arabinose, galactose e xilose) altamente hidrofóbicos que minimizam a atividade de água e, conseqüentemente, o metabolismo dos microrganismos deterioradores (Enterobactérias e *Clotridium*), o que proporciona elevada RMS a silagem. Além disso, a palma forrageira possui substâncias tamponantes, como os ácidos oxálico, málico, cítrico, malônico, succínico e tartárico, que podem impedir a queda abrupta do pH da massa ensilada, bem como controlar o crescimento da população de leveduras (Log₁₀/g⁻¹ de silagem) durante a exposição aeróbia da silagem (Brito et al., 2020). Assim, o teor de carboidratos solúveis presentes na planta possibilita a confecção da silagem, além de silagens mistas e na forma de ração a base de palma forrageira.

Brito et al. (2020) avaliando as características fermentativas de silagens mista de palma forrageira e *Gliricídia*, constataram pH médio em torno de 4,0, o que indica uma silagem com

adequado perfil fermentativo, além de não observarem quebra de estabilidade da aeróbia das silagens avaliadas. Esses baixos valores do pH da silagem de palma forrageira são um indício da adequada conversão de carboidratos solúveis em ácido láctico, mas também com presença considerável de ácido acético (Chekir et al., 2013; Gusha et al., 2013; Gusha et al., 2015). Sá et al. (2020) avaliando silagens de palma forrageira aditivadas com ureia e *Lactobacillus Buchneri*, observaram valores pH, ácido láctico e ácido acético de 3,46, 6,20 g/Kg⁻¹ e 16,30 g/Kg⁻¹, respectivamente, para silagem de palma forrageira ensilada isoladamente no período de abertura de 60 dias.

Macêdo et al. (2018) avaliando silagens de rações à base de palma forrageira, observaram que as silagens foram bem fermentadas, porém, com o pH estabilizando-se 15 dias após a ensilagem, o que favoreceu uma produção de ácido acético de até 60 g/Kg⁻¹ de MS, além das silagens apresentarem uma RMS superior a 900 g/Kg⁻¹. Santos et al. (2020) avaliando a diversidade taxonômica da silagem na forma de ração a base de palma forrageira e gliricídia, observaram que as silagens apresentaram perfil heterolático, com as silagens apresentando alta estabilidade aeróbia, além de uma RMS superior a 900 k/kg⁻¹.

Essas concentrações moderadas de ácido acético em silagens a base de palma forrageira, podem estar associadas à presença de bactérias lácticas heterofermentativas, como demonstrado por Pereira et al. (2020), que identificaram em sua pesquisa predominância na planta da bactéria láctica do gênero *Weissella*, classificada como BAL heterofermentativa obrigatória. Portanto, recentemente vêm sendo avaliado o potencial da palma forrageira como aditivo para silagens, no sentido de elevar a concentração de ácido acético e assegurar a estabilidade aeróbia das silagens.

De acordo com Woolford (1984), os aditivos são classificados em acidificantes diretos (ácidos inorgânicos e orgânicos), inibidores da fermentação (de ação direta e indireta), estimulantes da fermentação (substratos, enzimas e culturas microbianas), antimicrobiano específicos (antibióticos) e nutrientes (energia, nitrogênio e minerais. Enquanto McDonald et al. (1991) classificam os aditivos em estimulantes de fermentação (culturas bacterianas e fontes de carboidratos), inibidores de fermentação (ácidos), inibidores de deterioração aeróbia, nutrientes e absorventes (alimentos concentrados). Deste modo, a palma forrageira encaixa-se em algumas definições, tais como: estimulante de fermentação, inibidora de deterioração aeróbia, além de poder ser considerada um aditivo nutriente, aumentando o valor energético da silagem.

Desta maneira, devido seu potencial em contornar problemas de fermentação (Macedo et al., 2018; Santos et al., 2020; Brito et al., 2020), bem como por seu perfil fermentativo

heterolático, fazem com que essas silagens apresentem um adequado perfil fermentativo, além de se tornem mais estáveis durante a exposição ao ar (Nogueira et al., 2019; Sá et al., 2020; Pereira et al., 2020; Macêdo et al., 2018).

Assim, essas substâncias tamponantes presentes na palma forrageira podem propiciar uma queda menos abrupta do pH durante o processo fermentativo do sorgo forrageiro, além de promover uma fermentação heterotática da massa ensilada, controlando a fermentação alcoólica pelo controle das leveduras, devido a quantidade de ácido acético oriundo da fermentação da palma forrageira (Sá et al., 2020), reduzindo as perdas durante o processo fermentativo e aumentando a estabilidade aeróbia da silagem. Dessa maneira, a confecção de silagens mistas com o uso da palma forrageira, torna-se uma técnica promissora, uma vez que os aspectos negativos do sorgo forrageiro para o processo de ensilagem podem ser compensados pela palma.

Outra maneira de explorar estrategicamente a palma forrageira dentro do sistema de produção é usá-la como aditivo umidificador do grão de milho, visto que silagens de grão milho reidratados com água geralmente apresentam baixa capacidade fermentativa, devido à baixa concentração de CSA, baixas contagens de BAL e, conseqüentemente, baixa estabilidade aeróbia (Carvalho et al., 2017). Assim, a palma forrageira pode ser um promissor aditivo na produção de silagem de grão de milho reidratado, garantindo a umidade e substrato suficientes para garantir uma boa fermentação, além de promover elevada estabilidade aeróbia a silagem, em razão do perfil fermentativo heterolático da palma forrageira.

Com base nessas características supracitadas, a palma forrageira possibilita a produção de silagens na forma de ração em regiões Áridas e Semiáridas. Essa técnica consiste na ensilagem oriunda da combinação de forragem, ingredientes concentrados, grão secos e coprodutos da agroindústria em proporções balanceadas. Além de propiciar um aumento considerável na disponibilidade do amido, em silagens de grão úmido, e na digestibilidade da fração fibrosa da dieta, bem como reduz a seleção dos ingredientes pelos animais, otimizando seu desempenho produtivo (Macêdo et al., 2018).

Referências bibliográficas

Aslani, M. R., Movassaghi, A. R., Najarnejhad, V., Pirouz, H. J., & Bami, M. H. (2011). Acute oxalate intoxication associated to ingestion of eshnan (*Seidlitzia rosmarinus*) in sheep. *Tropical animal health and production*, 43(6), 1065-1068.

Batista, Â. M., Ribeironeto, A. C., Lucena, R. B., Santos, D. C., Dubeux Jr, J., & Mustafa, A. F. (2009). Chemical composition and ruminal degradability of spineless cactus grown in Northeastern Brazil. *Rangeland Ecology & Management*, 62(3), 297-301.

Beccaro, G. L., Bonvegna, L., Donno, D., Mellano, M. G., Cerutti, A. K., Nieddu, G., ... & Bounous, G. (2015). *Opuntia* spp. biodiversity conservation and utilization on the Cape Verde Islands. *Genetic resources and crop evolution*, 62(1), 21-33.

Ben Salem, H., & Abidi, S. (2007). *Recent advances on the potential use of Opuntia spp. in livestock feeding*. In VI International Congress on Cactus Pear and Cochineal 811 (pp. 317-326).

Ben Salem, H., Nefzaoui, A., Ben Salem, L. (2002). *Opuntia ficus-indica* finermis and *Atriplex nummularia* L.: two complementary fodder shrubs for sheep and goats, In: IV International Congress on Cactus Pear and Cochineal, 581, 333–341

Bispo, S. V., Ferreira, M. D. A., Vêras, A. S. C., Batista, Â. M. V., Pessoa, R. A. S., & Bleuel, M. P. (2007). Palma forrageira em substituição ao feno de capim-elefante: Efeito sobre consumo, digestibilidade e características de fermentação ruminal em ovinos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36, 1902-1909.

Brito, G. S. M. S., Santos, E. M., de Araújo, G. G. L., de Oliveira, J. S., de Moura Zanine, A., Perazzo, A. F., ... & Cavalcanti, H. S. (2020). Mixed silages of cactus pear and gliricidia: chemical composition, fermentation characteristics, microbial population and aerobic stability. *Scientific Reports*, 10(1), 1-13.

Cândido, M. J. D., de Araújo, G. G. L., & CAVALCANTE, M. A. B. (2005). Pastagens no ecossistema semi-árido brasileiro: atualização e perspectiva futuras. In Embrapa Semiárido- Artigo em anais de congresso (ALICE). In: *REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA*, 42., 2005, Goiânia, GO. Anais... Goiânia: SBZ; Universidade Federal de Goiânia, 2005..

Carvalho, B. F., Ávila, C. L. S., Bernardes, T. F., Pereira, M. N., Santos, C., & Schwan, R. F. (2017). Fermentation profile and identification of lactic acid bacteria and yeasts of rehydrated corn kernel silage. *Journal of applied microbiology*, 122(3), 589-600.

Chekir, I., Ayed, L., Hamdi, M., & Ben Salem, H. (2013). Lactic fermentation to improve the nutritive value of *Opuntia ficus-indica* f. *inermis* cladodes mixed with some agro-industrial by-products. *Acta Horticulturae*, (995), 319-324.

Cordova-Torres, A. V., Costa, R. G., Medeiros, A. N. D., ARAÚJO, J. T., Ramos, A. O., & Alves, N. D. L. (2017). Performance of sheep fed forage cactus with total water restriction. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 18, 369-377.

da Silva Costa, F., Suassuna, J. F., de Melo, A. S., Brito, M. E. B., & de Mesquita, E. F. (2012). Crescimento, produtividade e eficiência no uso da água em bananeira irrigada no semiárido paraibano. *Revista Caatinga*, 25(4), 26-33.

de Barros, L. J. A., de Andrade Ferreira, M., de Oliveira, J. C. V., Dos Santos, D. C., Chagas, J. C. C., Alves, A. M. S. V., ... & Freitas, W. R. (2018). Replacement of Tifton hay by spineless cactus in Girolando post-weaned heifers diets. *Tropical animal health and production*, 50(1), 149-154.

de Sá Paulino, R., de Oliveira, J. S., Santos, E. M., Pereira, G. A., de Farias Ramos, J. P., Neto, J. M. C., ... & de Oliveira, C. J. B. (2021). Spineless cactus use management on microbiological quality, performance, and nutritional disorders in sheep. *Tropical Animal Health and Production*, 53(1), 1-14.

Gusha, J., Halimani, T. E., Ngongoni, N. T., & Ncube, S. (2015). Effect of feeding cactus-legume silages on nitrogen retention, digestibility and microbial protein synthesis in goats. *Animal Feed Science and Technology*, 206, 1-7.

Gusha, J., Ngongoni, N. T., & Halimani, T. E. (2013). Nutritional composition and effective degradability of four forage trees grown for protein supplementation. *Online Journal of Animal Feed Research*, 3(4), 170-175.

Lopes, E. B., Batista, J. D. L., Brito, C. D., & Santos, D. D. (2012). Pragas da palma forrageira. Palma forrageira: cultivo, uso atual e perspectivas de utilização no semiárido Nordestino. João Pessoa: EMEPA/FAEPA, 61-80.

Lopes, M. N., Cândido, M. J. D., Gomes, E. D. C., Pompeu, R. C. F. F., & Silva, R. G. D. (2018). Biomass flow and water efficiency of cactus pear under different managements in the Brazilian Semiarid. *Revista Ciência Agronômica*, 49, 324-333.

Macêdo, A. J. D. S., Santos, E. M., Araújo, G. G. L. D., Edvan, R. L., Oliveira, J. S. D., Perazzo, A. F., ... & Pereira, D. M. (2018). Silages in the form of diet based on spineless cactus and buffelgrass. *African Journal of Range & Forage Science*, 35(2), 121-129.

Marques, O. F. C., de Paula Gomes, L. S., Mourthé, M. H. F., dos Santos Braz, T. G., & Neto, O. D. S. P. (2017). Palma forrageira: cultivo e utilização na alimentação de bovinos. *Caderno de Ciências Agrárias*, 9(1), 75-93.

McDonald, P., Henderson, A. R., & Heron, S. J. E. (1991). *The biochemistry of silage*; 2nd. Marlow: Chalcombe Publications.

Nogueira, M. D. S., Araújo, G. G. L., Santos, E. M., Gonzaga Neto, S., Oliveira, J. S., Perazzo, A. F., ... & Pereira, D. M. (2019). Feed alternatives with cactus forage silage for animal nutrition. *International Journal of Agriculture and Biology*, 22(6), 1393-1398.

Pereira, G. A., Santos, E. M., Araújo, G. G. L., Oliveira, J. S., Pinho, R. M. A., Zanine, A. D. M., ... & Nascimento, T. V. C. (2019). 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*, 157(9-10), 684-692.

Pimienta, B. E., Barbera, G., & Inglese, P. (1993). Cactus pear (*Opuntia* spp., cactaceae) international network: An effort for productivity and environmental conservation for arid and semiarid lands. *Cactus and succulent journal* (USA).

- Rahman, M. M., Abdullah, R. B., & Wan Khadijah, W. E. (2013). A review of oxalate poisoning in domestic animals: tolerance and performance aspects. *Journal of animal physiology and animal nutrition*, 97(4), 605-614.
- Rocha, J. D. S. (2012). Palma forrageira no Nordeste do Brasil: estado da arte. *Embrapa Caprinos e Ovinos-Documentos (INFOTECA-E)*.
- Rodrigues, A. M., Pitacas, F. I., Reis, C. M. G., & Blasco, M. (2016). Nutritional value of *Opuntia ficus-indica* cladodes from Portuguese ecotypes. *Bulgarian Journal of Agricultural Sciences*, 22, 40-45.
- Sá, W. C. C. S., Santos, E. M., de Oliveira, J. S., de Araujo, G. G. L., Perazzo, A. F., da Silva, A. L., ... & Leite, G. M. Fermentative characteristics and chemical composition of cochineal nopal cactus silage containing chemical and microbial additives. *The Journal of Agricultural Science*, 1-9.
- Santos, F. N. S., Santos, E. M., Oliveira, J. S., Medeiros, G. R., Zanine, A. M., Araújo, G. G. L., ... & Oliveira, C. J. B. (2020). Fermentation profile, microbial populations, taxonomic diversity and aerobic stability of total mixed ration silages based on Cactus and *Gliricidia*. *The Journal of Agricultural Science*, 158(5), 396-405.
- Sato, J. P. H., Takeuti, K. L., Andrade, M. R., Koerich, P. K., Tagliari, V., Bernardi, M. L., ... & Barcellos, D. E. (2016). Perfis de virulência de *Escherichia coli* enterotoxigênica isoladas de leitões desmamados com diarreia do Sul do Brasil e classificação das amostras de acordo com a consistência fecal. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, 36(4), 253-257.
- Silva, T. C., Da Silva, L. D., Santos, E. M., Oliveira, J. S., & Perazzo, A. F. (2017). Importance of the fermentation to produce high-quality silage. *Fermentation Processes*, 1-20.
- Simões, D. A., SANTOS, D. D., & Dias, F. M. (2005). Introdução da palma forrageira no Brasil. MENEZES, RSC; SIMÕES, DA; SAMPAIO, EVSB *A palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso*. Recife: Editora da Universitária da UFPE.

CAPÍTULO I

Silagens mistas de sorgo forrageiro e palma forrageira

RESUMO

O objetivo do presente estudo foi identificar o nível ótimo de palma forrageira que proporcione um bom perfil microbiológico, bem como diminua as perdas durante o processo de ensilagem, otimizando a recuperação de matéria seca e estabilidade aeróbia das silagens mistas de palma e sorgo forrageiro. Foi utilizado um delineamento experimental inteiramente casualizado, composto por cinco tratamentos e quatro repetições, sendo os tratamentos caracterizados pelos níveis de palma forrageira na ensilagem do sorgo forrageiro (0; 25; 50; 75 e 100% de palma forrageira na matéria natural da mistura). Houve efeito quadrático ($P < 0,05$) nas contagens de bactérias do ácido láctico, recuperação de matéria seca e perdas por gases, estimando-se valores máximos nos níveis de 51,8 e 33,5% de palma forrageira para bactérias do ácido láctico e recuperação de matéria seca, respectivamente valor mínimo de perdas por gases no nível de 37,9% de palma na silagem. Observou-se efeito linear crescente ($P < 0,05$) para perdas por efluente, tempo em que as silagens atingiram a temperatura máxima, tempo de estabilidade aeróbia das silagens e nos teores de extrato etéreo e carboidratos não fibroso. Entretanto, houve efeito linear decrescente ($P < 0,05$) na contagem de mofos, temperatura máxima da silagem, nos teores de matéria seca, proteína bruta e fibra em detergente neutro das silagens mistas. Ao utilizar-se a palma forrageira na confecção de silagens mistas de palma forrageira e sorgo forrageiro, recomenda-se o nível de 50% de palma forrageira na silagem mista, otimizando a recuperação de matéria seca e a estabilidade aeróbia das silagens.

Palavras-chave: bactérias do ácido láctico; estabilidade aeróbia; ensilagem; perdas; recuperação de matéria seca

ABSTRACT

The aim of the present study was to identify the optimal level of cactus pear that provides a good microbiological profile, as well as decreases losses during the ensiling process, optimizing dry matter recovery and aerobic stability of mixed silages of cactus pear and sorghum. A completely randomized experimental design was adopted, consisting of five treatments and four replications, with the treatments characterized by the levels of cactus pear in the sorghum silage (0; 25; 50; 75 and 100% of cactus pear on as fed basis in the mixture). It was found a significant quadratic effect ($P<0.05$) on lactic acid bacteria counts, dry matter recovery and gas losses, with maximum estimated values of lactic acid bacteria and dry matter recovery estimated in the levels of 51.8 and 33.5% of cactus pear, respectively, and minimum value of gas losses in the level of 37.9% of cactus pear in the silage. An increasing linear effect ($P<0.05$) was observed on effluent losses, time for the silages to reach maximum temperature, silage aerobic stability time, and on the contents of ether extract and non-fiber carbohydrates. However, there was a decreasing linear effect ($P<0.05$) on mold count, maximum temperature, and on the contents of dry matter, crude protein and neutral detergent fiber of the mixed silages. When using cactus pear in the production of mixed silages with sorghum, it is recommended the level of 50% of cactus pear in the mixture, as it optimizes the dry matter recovery and aerobic stability of the silages.

Keywords: aerobic stability; dry matter recovery; ensiling; lactic acid bacteria; losses

1 INTRODUÇÃO

A rápida conversão dos carboidratos solúveis em água presente no sorgo forrageiro pelas bactérias lácticas em ácido láctico, faz com que haja uma diminuição abrupta no pH da massa ensilada, favorecendo o crescimento da população de leveduras, sendo este o principal microrganismo responsável pela fermentação alcoólica e deterioração aeróbia da silagem quando exposta ao ar (Tabacco et al., 2009; Schmidt e Kung, 2010; Tabacco et al., 2011; Ferrero et al., 2019).

Baseando-se nessas informações, vêm sendo desenvolvidas aditivos microbianos e químicos na finalidade de contornar os problemas durante o processo fermentativo e após a abertura do silo (Abdelhadi e Tricarico, 2009; Tabacco et al., 2009; Lima et al., 2010; Lima et al., 2011; Tabacco et al., 2011; Thomas et al., 2013). Contudo, as melhorias significativas nas características fermentativas e estabilidade aeróbia das silagens avaliadas não tem se apresentado como resultado consistente. Diepersoloot et al. (2021); Rodrigues et al. (2020); Ferrero et al. (2018); Santos et al. (2018); Khota et al. (2017); Pyś et al. (2010) e Xing et al. (2009) avaliando o efeito de inoculantes microbianos heterofermentativos e químicos na silagem de sorgo, observaram médias 3,67, 35,1 g/kg, 96,5 g/kg, 18,6 g/kg e 15 g/kg para pH, CSAr, ácido láctico, ácido acético e etanol, respectivamente. Portanto, os efeitos de aditivos microbianos e químicos na ensilagem do sorgo forrageiro continuam variáveis e inconclusivos

Com base no exposto, o uso da técnica da ensilagem mista com palma forrageira seria uma alternativa para solucionar os problemas relacionados a silagem do sorgo forrageiro, visto que essa técnica tem como objetivo associar duas ou mais culturas no propósito de melhorar as características nutricionais e fermentativas das silagens.

A palma forrageira surge como opção para compor a silagem mista com o sorgo forrageiro, embora possua características desfavoráveis a ensilagem, como o baixo teor de matéria seca ($< 200 \text{ g kg}^{-1}$) e alta concentração de carboidratos solúveis ($>120 \text{ g kg}^{-1}$ da matéria seca) (Nogueira et al., 2019). Por outro lado, a mucilagem da palma forrageira é composta por polissacarídeos (ramnose, arabinose, galactose e xilose) altamente hidrofílicos que minimizam a atividade de água e conseqüentemente o metabolismo dos microrganismos deterioradores.

Além disso, a palma forrageira possui substâncias tamponantes, como: ácidos oxálico, málico, cítrico, malônico, succínico e tartárico, que podem impedir a queda abrupta do pH da massa ensilada, bem como controlar o crescimento da população de leveduras durante a exposição aeróbia da silagem (Brito et al., 2020). Nogueira et al. (2019) e Sá et al. (2020) avaliando silagens de palma forrageira aditivadas, observaram para silagens de palma forrageira

sem aditivo valores de ácido acético de 22,5 e 16,30 g/Kg⁻¹, respectivamente. Assim, a associação entre a palma forrageira e o sorgo forrageiro pode diminuir a fermentação alcoólica pelo controle das leveduras, devido a quantidade de ácido acético oriundo da fermentação da palma forrageira, reduzindo as perdas durante o processo fermentativo e aumentando a estabilidade aeróbia da silagem.

Dessa maneira, a confecção de silagens mista torna-se uma técnica promissora, uma vez que os aspectos negativos do sorgo forrageiro para o processo de ensilagem podem ser compensados pela palma forrageira, observando-se a complementariedade destas duas culturas. Portanto, o presente estudo teve como objetivo identificar o nível de palma forrageira ideal na mistura que proporcione um bom perfil microbiológico, bem como diminua as perdas durante o processo de ensilagem, otimizando a recuperação de matéria seca e estabilidade aeróbia das silagens mistas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Local do experimento

O experimento foi conduzido no Setor de Forragicultura do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, município de Areia, PB, inserido na microrregião do Brejo paraibano, situado pelas coordenadas geográficas 6° 58' 12" de latitude Sul, 35° 42' 15" de longitude Oeste de Greenwich e 619 m de altitude. O clima da região é quente e úmido, do tipo As', de acordo a classificação de Köppen. Segundo dados da Estação Meteorológica do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba a precipitação média anual no município de Areia é de 1400 mm, a temperatura média anual é de 24,5 °C e a umidade relativa média é de 80%. O quadrimestre mais chuvoso é constituído dos meses entre abril e julho, e representa 62% do total médio anual.

Procedimentos de ensilagem

O sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* L. Moench) foi adquirido de uma fazenda localizada no município de Alagoinha, localizado a 6° 57' 12" de latitude Sul e 35° 32' 19" de longitude Oeste, a 147 m de altitude, inserida na mesorregião de Agreste Paraibano, e na microrregião de Guarabira. Apresenta clima tropical chuvoso com verão seco (As'), segundo a classificação de Köppen, com chuvas de fevereiro a agosto, com precipitação e temperatura média anuais em torno de 1.127 mm e 26,5 °C, respectivamente. O sorgo forrageiro foi semeado no dia 06 de junho de 2019 e colhido em 13 de setembro de 2019, quando os grãos apresentavam-se no estágio leitoso/pastoso.

A palma forrageira da espécie *Nopalea cochenillifera* Salm Dyck, comumente conhecida como palma Miúda, com idade de rebrota de um ano, foi oriunda de um palmal já implantado no Instituto Nacional do Semiárido (INSA), localizado no município de Campina Grande, PB, inserido na mesorregião do Agreste paraibano, apresentando altitude aproximada de 494 m, com as coordenadas de Latitude: 7°16'47.24" de latitude Sul e 35°58'29.97" de longitude Oeste. A classificação do clima é As' segundo a Köppen. A temperatura máxima de 30.0 °C e a temperatura mínima 18.0°C. A pluviosidade média anual é 876 mm.

As plantas foram colhidas manualmente e processadas em máquina forrageira estacionária (MC1001N Laboremus®), proporcionando partículas de aproximadamente 2 cm. O material foi imediatamente compactado com auxílio de soquetes de madeira até atingir a densidade aproximada de 600 Kg/m³ de matéria natural (MN) em cada silo experimental.

As silagens foram confeccionadas em 20 silos experimentais de policloreto de polivinila (PVC), com 15 cm de diâmetro x 30 cm de altura. Todos os silos experimentais foram adaptados com válvula tipo *Bunsen* para eliminação dos gases resultantes da fermentação. No fundo de cada silo foi adicionado 1 kg de areia seca, protegida por tecido não tecido (TNT), evitando que a mistura entrasse em contato com a areia, permitindo assim, a drenagem do efluente. Ao final deste processo, os silos foram fechados, pesados e armazenados à temperatura ambiente em local coberto, seco e arejado até o momento de abertura (90 dias após a ensilagem).

Delineamento experimental utilizado

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, composto por cinco tratamentos e quatro repetições, sendo os tratamentos caracterizados pelos níveis de palma forrageira na ensilagem do sorgo forrageiro (0; 25; 50; 75 e 100% de palma forrageira na matéria natural (MN) da mistura).

Populações microbianas

As populações microbianas foram quantificadas no momento das aberturas dos silos experimentais, utilizando-se meios de cultura seletivos para cada grupo microbiano: ágar MRS (de Man, Rogosa e Sharpe), contendo 1,5 ml/L de ácido acético, para as bactérias do ácido láctico (BAL) e ágar Batata Dextrose, contendo 1% de ácido tartárico a 10%, para os mofos e leveduras.

A quantificação dos grupos microbianos foi realizada a partir de 10 g de uma amostra das repetições de cada tratamento, nas quais foram adicionados 90 mL de solução tampão fosfato esterilizada e homogeneizadas durante 1 minuto, obtendo-se a diluição de 10⁻¹. Em seguida,

diluições sucessivas foram realizadas, objetivando-se obter diluições variando de 10^{-1} a 10^{-9} , e o cultivo foi realizado em placas de Petri estéreis descartáveis (González & Rodríguez, 2003).

As placas foram incubadas de acordo com as temperaturas de incubação específicas para cada grupo microbiano (Ávila et al. 2014; Santos et al. 2014). Para BAL, 37°C durante 48 horas e para mofos e leveduras, 28°C durante 72 horas. Foram consideradas passíveis de contagem as placas com valores entre 30 e 300 unidades formadoras de colônias (UFC/g de silagem).

Perfil fermentativo das silagens

No momento da abertura foram determinados os valores de pH, e nitrogênio amoniacal (N-NH₃) seguindo a metodologia descrita por Bolsen et al. (1992). Para determinação do teor dos carboidratos solúveis em água (CSA), utilizou-se o método do ácido sulfúrico concentrado descrito por Dubois et al. (1956) com adaptações de Corsato et al. (2008).

Perdas e recuperação de matéria seca da silagem

As perdas de matéria seca nas silagens sob as formas de gases e efluentes foram quantificadas por diferença de peso pelas equações descritas por Zanine et al. (2010):

$$PG = (PCf - PCa) / (MFf \times MSf) \times 10000$$

Onde, PG = perdas por gases (% da matéria seca); PCf = peso do silo cheio no fechamento (kg); PCa = peso do silo cheio na abertura (kg); MFf = massa de forragem no fechamento do silo (kg); MSf = concentração de matéria seca da forragem no fechamento do silo (%).

$$PE = [(PVf - Tb) - (PVi - Tb)] / MFi \times 100$$

Onde, PE = perdas por efluentes (kg ton⁻¹ de matéria natural); PVi = peso do silo vazio + areia no fechamento (kg); PVf = peso do silo vazio + areia na abertura (kg); Tb = peso do silo vazio (kg); MFi = massa de forragem no fechamento do silo (kg).

A estimativa da recuperação de matéria seca (RMS) foi obtida por diferença de peso de matéria seca antes e após a ensilagem pela equação descrita por Zanine et al. (2010):

$$RMS = (MFa \times MSa) / (MFf \times MSf) \times 100$$

Onde, RMS = taxa de recuperação de matéria seca (%); MFa = massa da forragem na abertura do silo (kg); MSa = concentração de matéria seca da forragem na abertura do silo (%); MFf = massa da forragem no fechamento do silo (kg); MSf = concentração de matéria seca da forragem no fechamento do silo (%).

Estabilidade aeróbia das silagens

A estabilidade aeróbia (EA) das silagens (expressa em horas) por meio do monitoramento da temperatura interna das silagens expostas ao ar durante um período de 120 horas. As amostras de silagem foram colocadas sem compactação em silos experimentais de PVC sem tampa e mantidas em ambiente fechado com temperatura controlada (25°C).

A temperatura máxima da silagem (TM), em °C e o tempo para alcançar a temperatura máxima (HTM), expresso em horas, foram determinados a partir do monitoramento da massa exposta ao ar a cada 30 minutos por meio de termômetros digitais de imersão, posicionados no centro da massa de silagem. Foi considerado o início da deterioração quando a temperatura interna das silagens atingiu 2°C acima da temperatura ambiente (Kung Jr et al., 2000).

Composição química das silagens

Foram coletadas amostras das plantas antes da ensilagem e das silagens, coletando-se aproximadamente 300 g de cada repetição. As amostras foram pré-secas em estufa de ar forçado por 72 h à 60°C.

Em seguida, essas amostras foram moídas em partículas de 1 mm em um moinho de facas Wiley e analisadas quanto às concentrações de matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), extrato etéreo (EE) e proteína bruta (PB) de acordo com AOAC (2005) métodos 934,01, 942,05, 920,39, 968,06, respectivamente.

Os teores de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) nas amostras foram determinados seguindo a metodologia descrita por Mertens (2002). Os carboidratos não fibrosos foram estimados pela seguinte fórmula desenvolvida por Sniffen et al. (1992): $CNF = 100 - (MM + PB + EE + FDN)$.

Tabela 1. Composição química do material antes da ensilagem

Variáveis	¹ Níveis de Palma, %				
	0	25	50	75	100
MS (g/Kg MN)	365,51	252,87	200,06	187,18	84,5

PB (g/Kg de MS)	102,23	63,99	55,24	50,71	52,66
EE (g/Kg de MS)	14,56	12,07	8,01	12,49	22,58
FDN (g/Kg de MS)	715,88	677,69	665,74	539,69	353,16
CNF (g/Kg de MS)	167,33	246,25	371,01	497,11	571,6
CSA (g/Kg de MS)	139,81	180,97	177,81	198,94	162,54

¹Percentual na matéria natural

MS = Matéria seca; PB = Proteína bruta; EE = Extrato Etéreo; FDN = Fibra em detergente neutro; CNF = Carboidratos não fibrosos; CSA = Carboidratos solúveis em água;

Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos a análises de variância e regressão, de acordo com os níveis de palma forrageira na ensilagem do sorgo forrageiro, e os dados analisados utilizando-se o programa estatístico SAS 9.4 (SAS Institute, Cary, NC, USA). As equações de regressão foram escolhidas com base no coeficiente de determinação (R^2) e na significância dos coeficientes de regressão por meio do teste t utilizando $\alpha = 0,05$.

O modelo estatístico usado foi o seguinte:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + e_i$$

Em que:

- ✓ Y_i = valor observado para a variável dependente Y no i-ésimo nível da variável independente X;
- ✓ β_0 = constante de regressão. Representa o intercepto da reta com eixo dos Y;
- ✓ β_1 = coeficiente de regressão. Representa a variação de Y em função da variação de uma unidade da variável X;
- ✓ X_i = i-ésimo nível da variável independente X ($i = 1, 2, \dots, n$);
- ✓ e_i = é o erro que está associado à distância entre o valor observado Y_i e o correspondente ponto na curva, do modelo proposto, para o mesmo nível i de X.

3 RESULTADOS

Contagem microbiana das silagens

Houve efeito quadrático ($P < 0,05$) nas populações de BAL, em função dos níveis de palma forrageira na silagem mista, com população máxima estimada pelo modelo de regressão no nível de 51,8% de palma. Observou-se efeito linear ($P < 0,05$) na população de mofos da

silagem variando de 3,85 log₁₀ UFC/g a 1,50 log₁₀ UFC/g de silagem. Contudo, não houve efeito ($P > 0,05$) para a população de leveduras, apresentando média 1,32 log₁₀ UFC/g de silagem (Tabela 2).

Tabela 2. Contagem microbiana em função dos níveis de palma forrageira na silagem mista

Variáveis	Níveis de Palma, %					EPM	L	Q	R ²
	0	25	50	75	100				
BAL (UFC/g de silagem)	4,42	5,68	6,32	6,23	4,50	0,199	0,282	<0,001	96,64
Mofos (UFC/g de silagem)	3,85	4,85	1,82	1,50	1,50	0,701	0,002	0,794	67,89
Leveduras (UFC/g de silagem)	1,78	1,25	0,75	1,5	1,5	0,798	0,076	0,789	96,93

¹Percentual na matéria natural

²BAL = Bactérias do ácido láctico; EMP = erro padrão da média; L = significância para efeito linear; Q = significância para efeito quadrático; R² = coeficiente de determinação

Perfil fermentativo das silagens

Não houve efeito dos níveis de palma forrageira ($P > 0,05$) para a variável pH e CSAr, apresentando médias de 3,95 e 13,0 g/Kg⁻¹ de MS, respectivamente. Entretanto, observou-se efeito linear ($P > 0,05$) para N-NH₃, variando de 0,68 a 2,56 %NT, em função dos níveis de palma forrageira na silagem mista (Tabela 3).

Tabela 3. Perfil fermentativo da silagem em função dos níveis de palma forrageira na silagem mista

² Variáveis	¹ Níveis de Palma, %					EPM	L	Q	R ²
	0	25	50	75	100				
pH	3,86	3,86	3,83	3,93	4,3	0,146	0,072	0,146	93,98
CSAr (g/Kg de MS)	8,66	10,26	13,46	15,03	17,96	0,455	0,136	0,953	98,99
N-NH ₃ (%NT)	0,68	0,91	1,17	1,48	2,56	1,033	<0,001	<0,001	86,69

¹Percentual na matéria natural

²pH = potencial hidrogênionico; CSAr = Carboidratos solúveis em água residuais; N-NH₃ = Nitrogênio amoniacal com base no percentual de nitrogênio total

Perdas durante o processo de ensilagem e recuperação de matéria seca das silagens

Para as variáveis de perdas durante o processo de ensilagem, houve efeito linear ($P < 0,05$) para as PE, variando de 8,6 a 19,8%. Entretanto, observou-se efeito quadrático ($P < 0,05$) para as PG, estimando-se o menor valor de PG no nível de 37,9%, enquanto, para RMS estimou-se a maior RMS no nível de 33,5% de palma forrageira na silagem mista (Tabela 4).

Tabela 4. Perdas e recuperação de matéria seca em função dos níveis de palma forrageira na silagem mista

² Variáveis	¹ Níveis de Palma, %					EPM	L	Q	R ²
	0	25	50	75	100				
PG (% de MS)	8,60	4,39	4,73	4,52	19,89	1,134	<0,001	<0,001	89,47
PE (Kg/ton de MN)	6,79	14,16	24,43	52,84	124,19	2,083	<0,001	<0,001	81,60
RMS (g/Kg)	907,1	941,9	928,2	902,0	676,9	1,174	<0,001	<0,001	94,31

¹Percentual na matéria natural

²PG = `Perdas por gases; PE = perdas por efluentes e RMS = Recuperação de matéria seca; EMP = erro padrão da média; L = significância para efeito linear; Q = significância para efeito quadrático; R² = coeficiente de determinação

Estabilidade aeróbia das silagens

Observou-se efeito linear ($P < 0,05$) sobre a TM, reduzindo de 33,9 a 25,3 °C. Entretanto, houve efeito linear ($P < 0,05$) sobre as variáveis de HTM e EA, aumentando de 72,3 a 105,3 h e 55,5 a 120,0 h, respectivamente, em função dos níveis de palma forrageira na silagem mista (Tabela 5).

Tabela 5. Variáveis relacionadas a estabilidade aeróbia da silagem em função dos níveis de palma forrageira na silagem mista

² Variáveis	¹ Níveis de Palma, %					EPM	L	Q	R ²
	0	25	50	75	100				
TM (°C)	33,96	30,26	26,73	26,43	25,33	0,337	<0,001	<0,001	98,39
HTM (Horas)	72,33	81,16	96,00	88,66	105,33	6,882	0,007	0,806	82,53
EA (Horas)	55,50	69,16	120,00	120,00	120,00	3,744	<0,001	<0,001	89,88

¹Percentual na matéria natural

²TM = Temperatura máxima da silagem; HTM = Tempo para alcançar a temperatura máxima; EA = estabilidade aeróbia; EMP = erro padrão da média; L = significância para efeito linear; Q = significância para efeito quadrático; R² = coeficiente de determinação

Composição química das silagens

Observou-se efeito linear decrescente ($P < 0,05$) sobre os teores de MS, PB e FDN, reduzindo de 344,0 a 57,4 g/Kg, 94,5 a 60,8 g/Kg de MS e 721,0 a 287,9 g/Kg de MS, respectivamente. Contudo, houve efeito linear crescente ($P < 0,05$) para os teores de EE e CNF, em função dos níveis de palma forrageiro na ensilagem do sorgo forrageiro, aumentando de 18,2 a 27,8 g/Kg de MS, 166,3 a 638,9 g/Kg de MS, respectivamente (Tabela 6).

Tabela 6. Composição química da silagem em função dos níveis de palma forrageira na silagem mista

² Variáveis	¹ Níveis de Palma, %					EPM	L	Q	R ²
	0	25	50	75	100				
MS (g/Kg)	344,0	287,3	206,8	150,6	57,4	0,743	<0,001	0,112	99,30
PB (g/Kg de MS)	94,50	60,80	50,43	47,26	45,26	0,146	<0,001	<0,001	96,95
EE (g/Kg de MS)	18,20	17,90	23,06	31,50	27,83	0,127	<0,001	0,483	75,96
FDN (g/Kg de MS)	721,00	680,34	624,03	591,16	287,96	3,238	<0,001	0,002	93,12
CNF (g/Kg de MS)	166,33	240,95	302,47	330,11	638,91	3,224	<0,001	0,005	81,83

¹Percentual na matéria natural

²MS = Matéria seca; PB = Proteína bruta; EE = Extrato Etéreo; FDN = Fibra em detergente neutro; CNF = Carboidratos não fibrosos; EMP = erro padrão da média; L = significância para efeito linear; Q = significância para efeito quadrático; R² = coeficiente de determinação

4 DISCUSSÃO

Contagem microbiana das silagens

Os níveis de palma forrageira no momento da ensilagem promoveram um aumento significativo na população de BAL (\log_{10} UFC/g de silagem) nas silagens, com a população máxima sendo estimada no nível 51,8% de palma forrageira na silagem mista (Tabela 2). Sá et al. (2020) avaliando o perfil fermentativo da silagem de palma forrageira, observaram uma população de BAL (7,00 \log_{10} UFC/g de silagem) semelhante às encontradas no presente estudo.

Pereira et al. (2019) ao selecionar estirpes de bactérias ácido lácticas (BAL) isoladas da planta e da silagem de palma forrageira, observaram predominância de BAL heterofermentativas (*Weissella cibaria*, *Weissella confusa* e *Weissella paramesenteroides*). Esses microrganismos são capazes de produzir compostos antifúngicos, principalmente o ácido acético, e permitir o crescimento associado de populações de BAL produtoras de outros ácidos orgânicos, como por exemplo o ácido propiônico (Schmidt et al. 2011). O que explica a redução na população de mofo e leveduras (\log_{10} UFC/g de silagem) a medida em que se elevaram os níveis de palma forrageira na silagem mista (Tabela 2).

Essa redução na população desses microrganismos pode estar associada a substâncias tamponantes presentes na palma forrageira, tais como: os ácidos oxálico, málico, cítrico, malônico, succínico e tartárico, que podem impedir a queda abrupta do pH da massa ensilada, bem como controla o crescimento das populações de leveduras durante a exposição aeróbia da silagem. Esse efeito também foi observado por Brito et al. (2020), avaliando silagens mistas de glicíndia e palma forrageira, onde a inclusão de palma forrageira controlou a população de mofo e leveduras.

Dessa forma, os resultados do perfil microbiológico da silagem mista sugerem que os níveis de palma forrageira na silagem mista otimizaram desenvolvimento populacional de BAL, com provável atuação das heterofermentativas, visto que houve um aumento na população BAL e redução na população de mofo e leveduras a medida em que se aumentaram os níveis de palma forrageira na silagem mista (Tabela 2).

Tabacco et al. (2009) avaliando o efeito da inoculação com aditivos microbianos nas silagens de milho e sorgo, observaram um aumento populacional de BAL ($9,03 \log_{10}$ UFC/g silagem) e redução na população de leveduras ($2,17 \log_{10}$ UFC/g) na silagem de sorgo inoculada com *Lactobacillus buchneri*, no entanto, os autores não observaram diferença entre as contagens de BAL ($5,45 \log_{10}$ UFC/g) e leveduras ($5,82 \log_{10}$ UFC/g) de entre a silagem controle a inocula com *Lactobacillus plantarum*. Portanto, os resultados observados pelos autores na silagem de sorgo aditivada com o *Lactobacillus buchneri* se assemelham aos observado no presente estudo a medida em que se elevaram os níveis de palma forrageira na silagem mista (Tabela 2). Dessa maneira, o uso da palma forrageira associada com sorgo forrageiro pode ser uma estratégia de fomentar a fermentação heterofermentativa, semelhantemente aos efeitos de inoculantes microbianos.

Perfil fermentativo das silagens

Os valores de pH da massa ensilada são influenciados pela conversão dos CSA em ácidos orgânicos. No presente estudo observa-se que os CSA das plantas e misturas (Tabela 1) foram convertidos pelas bactérias lácticas em ácido láctico e possivelmente a ácido acético, como apontam os resultados observados na tabela 2. No entanto, o aumento nos níveis de palma forrageira não influenciou ($P > 0,05$) nos valores de pH silagem (Tabela 3). Embora a inclusão da palma forrageira na silagem mista tenha aumentado a quantidade de substâncias tamponantes e umidade na massa ensilada, esses aumentos não impediram a redução do pH das silagens, muito provavelmente em função dos elevados teores de carboidratos solúveis antes da ensilagem, independentemente dos níveis de palma (Tabela 3).

Kung Jr et al. (2018) relataram que de maneira geral plantas com teores de MS menor que 25% tendem a apresentar atividade de clostrídeos durante seu processo fermentativo, resultando em altas concentrações de N-NH₃. Contudo, isso não foi constatado no presente estudo, visto os baixos teores de N-NH₃ da silagem mista de sorgo com palma forrageira (Tabela 3), corroborando com os resultados observados por Sá et al. (2020), Santos et al. (2020) e Brito et al. (2020) ao avaliarem silagem de palma e a base de palma forrageira. Portanto, o processo fermentativo das silagens do presente estudo foi eficiente em inibir o desenvolvimento de microrganismos indesejáveis, como o *Clostridium*, não obstante os valores de matéria seca inferiores a 30%.

Perdas durante o processo de ensilagem e recuperação de matéria seca das silagens

De modo geral, a inclusão de palma forrageira na silagem mista influenciou positivamente o processo fermentativo da silagem e possivelmente tenha propiciado um perfil fermentativo heterolático, embora as silagens com 25; 50 e 75% de palma forrageira nas silagens mistas tenham apresentado valores inferiores a 5,0% de PG na MS da silagem (Tabela 4).

O aumento nas PE durante o processo fermentativo está associado ao maior teor de umidade da palma forrageira. Sá et al. (2020) avaliando as características fermentativa e composição química da silagem palma forrageira, observaram valores de PE de 12 Kg/ton de MV. Os autores associam esse resultado a quantidade de mucilagem (substância gelatinosa) elevada em função da idade da palma forrageira no momento da ensilagem, que poderia ter minimizado o escoamento dos efluentes. No estudo desses autores, a palma tinha uma idade de rebrotação de 2 anos. Portanto, os resultados para PE já eram esperados, visto que a palma utilizada no presente estudo possuía idade inferior a 2 anos, que por sua vez, possui em sua composição menor quantidade de mucilagem e conseqüentemente maior quantidade de água livre.

Embora os níveis de palma forrageira tenham afetado negativamente as PE, esse efeito negativo não foi observado sobre a RMS das silagens mistas, apresentando valores $> 900,00$ g/Kg nos níveis de 0; 25; 50 e 75% de palma forrageira, com máxima RMS (941,9 g/Kg) sendo estimada pelo modelo de regressão no nível 33,5% de palma forrageira na silagem mista (Tabela 4). Contudo, quando a palma forrageira foi ensilada isoladamente apresentou RMS $< 700,00$ g/Kg. Esse resultado difere dos observados por Brito et al. (2020), Sá et al. (2020) e Santos et al. (2020), observaram em suas pesquisas ao avaliarem silagens de palma e a base de palma uma RMS > 900 g/Kg, o que pode ser justificado pela idade do palmal, que no presente estudo apresentava um ano de rebrotação.

Contudo, o sorgo forrageiro quando ensilado isoladamente geralmente resulta em RMS inferior a 900,00 g/Kg, como observado por Paiva et al. (2011), ao avaliarem cultivares de sorgo, cultivados no Semiárido Paraibano, constataram uma RMS $< 850,00$ g/Kg para os cultivares BRS Ponta Negra e BRS 610, respectivamente. Dessa forma, o uso da palma se mostrou efetivo em contornar as perdas totais na ensilagem de sorgo, principalmente nos níveis intermediários de inclusão.

Estabilidade aeróbia das silagens

Do ponto de vista de estabilidade aeróbia a silagem de sorgo forrageiro, caracteriza-se por ser instável após a abertura do silo, gerando onerosas perdas, pela necessidade de descarte de silagens com presença de mofos ou com sinais de deterioração. Essa baixa estabilidade aeróbia está associada à alta população e/ou espécie de leveduras na massa ensilada no momento da abertura do silo.

A deterioração inicial se deva a uma intensa atividade metabólica, utilizando componentes solúveis, como carboidratos solúveis em água residuais e ácido láctico presentes na silagem como substrato para seu crescimento (Amaral et al., 2008). Tabacco et al. (2009) e Tabacco et al. (2011) observaram em suas pesquisas que o sorgo forrageiro possui estabilidade aeróbia inferior a 45 horas quando ensilado isoladamente, ao avaliarem os efeitos dos *L. buchneri* e *Plantarum* nas silagens de milho e sorgo. Os resultados observados por esses autores se assemelham aos observados no presente estudo, principalmente nas silagens com níveis abaixo de 50% de palma na MN.

A utilização de palma forrageira na produção da silagem mista promoveu redução sobre a TM (°C) e aumento no HTM (Horas). Para a EA, a influência da palma forrageira só é observada a partir do nível de 25%, o qual proporcionou um aumento de na estabilidade da massa ensilada em 13,66 horas. A partir do nível de 50% de palma forrageira na silagem mista

não observou-se quebra de estabilidade aeróbia (> 120 horas) da massa ensilada (Tabela 5). Sá et al. (2020), Santos et al. (2020) e Brito et al. (2020) também não observaram quebra de estabilidade aeróbia em suas silagens a base de palma forrageira, assemelhando-se aos resultados observados no presente estudo.

Esse resultado pode estar associado as características microbianas das silagens (Tabela 2). Pereira et al. (2019) identificaram em sua pesquisa predominância na palma forrageira de bactérias lácticas do gênero *Weissella*, classificada como BAL heterofermentativa obrigatória. A prevalência de fermentação heteroláctica tem sido atribuída a presença de substâncias tamponantes na palma forrageira, que promovem uma queda menos acentuada do pH, possibilitando a proliferação de bactérias lácticas heterofermentativas (Sá et al., 2020; Pereira et al., 2019; Macêdo et al., 2018). Espécies heterolácticas obrigatórias, melhoram a estabilidade aeróbia devido a maior produção de ácido acético (Muck et al., 2018).

Composição química das silagens

Os níveis de palma forrageira nas silagens mistas reduziram os teores de MS, PB e FDN e aumentou os teores EE e CNF das misturas (Tabela 1) e conseqüentemente da silagem (Tabela 6). Contudo, pode-se dizer que houve uma influência da palma forrageira sobre as características fermentativas e nutricionais da silagem mista quando comparada ao material *in natura*. Os resultados de composição química das silagens observados por Brito et al. (2020) ao avaliarem silagens mistas de gliricídia e palma forrageira, corroboram com os do presente estudo. Esses autores também não constaram perdas significativas no valor nutritivo das silagens mistas. Esses resultados podem estar associados ao bom processo fermentativo das silagens mistas, que inibiu a atividade de microrganismos indesejáveis, como *Clostridium* e Enterobactérias, reduzindo a proteólise e as perdas de MS (Kung Jr et al., 2018).

A redução nos teores de FDN das silagens durante o processo fermentativo (Tabela 6) quando comparado as misturas *in natura* (Tabela 1) está associado hidrólise ácida através dos ácidos orgânicos produzidos durante a fermentação (Muck et al., 2018).

Avaliando os resultados dessa pesquisa, a silagem com 50% de palma forrageira na MN apresentou maior contagem de BAL, bem como, a partir desse nível observam-se as menores contagens de mofos e leveduras nas silagens mistas, influenciando diretamente a EA das silagens (> 120 horas) a partir desse nível.

Embora os níveis de palma forrageira tenham aumentado as PE, foi observado um aumento significativo na RMS (> 940,00 g/Kg) no nível de 33,5% de palma forrageira na

silagem mista. Contudo, no nível de 50% de palma forrageira observou-se uma RMS de >920,0 sem comprometer o valor nutritivo das silagens mistas.

Portanto, tendo como base os resultados observados durante a pesquisa, evidencia-se o efeito aditivo da palma forrageira em silagens de sorgo, que normalmente apresenta perfil fermentativo homolático. Desse modo, os resultados dessa pesquisa servirão como base para o desenvolvimento de novas pesquisas envolvendo essa temática, bem como, auxiliará o produtor na tomada de decisão a respeito de otimizar o uso dos recursos forrageiros na sua propriedade.

5 CONCLUSÃO

Ao utilizar-se a palma forrageira na produção de silagens mistas de palma forrageira e sorgo, recomenda-se o nível de 50% de palma forrageira na silagem mista, otimizando a recuperação de matéria seca e estabilidade aeróbia.

REFERÊNCIAS

- Santos, A. P. M. D., Santos, E. M., Oliveira, J. S. D., Ribeiro, O. L., Perazzo, A. F., Martins Araújo Pinho, R., ... & Pereira, G. A. (2018). Effects of urea addition on the fermentation of sorghum (*Sorghum bicolor*) silage. *African Journal of Range & Forage Science*, 35(1), 55-62.
- Pyš, J. B., Karpowicz, A., & Szalata, A. (2010). The effect of harvest date and additives on chemical composition and aerobic stability of sorghum silage. *Slovak Journal of Animal Science*, 43(4), 187-194.
- Diepersloot, E. C., Pupo, M. R., Ghizzi, L. G., Gusmão, J. O., Heinzen Jr, C., McCary, C. L., ... & Ferraretto, L. F. (2021). Effects of microbial inoculation and storage length on fermentation profile and nutrient composition of whole-plant sorghum silage of different varieties. *Frontiers in Microbiology*, 12.
- Ferrero, F., Piano, S., Tabacco, E., & Borreani, G. (2019). Effects of conservation period and *Lactobacillus hilgardii* inoculum on the fermentation profile and aerobic stability of whole corn and sorghum silages. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(5), 2530-2540.

Rodrigues, P. H. M., Pinedo, L. A., Meyer, P. M., da Silva, T. H., & Guimarães, I. C. D. S. B. (2020). Sorghum silage quality as determined by chemical–nutritional factors. *Grass and Forage Science*, 75(4), 462-473.

Khota, W., Pholsen, S., Higgs, D., & Cai, Y. (2017). Fermentation quality and in vitro methane production of sorghum silage prepared with cellulase and lactic acid bacteria. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 30(11), 1568.

Xing, L., Chen, L. J., & Han, L. J. (2009). The effect of an inoculant and enzymes on fermentation and nutritive value of sorghum straw silages. *Bioresource Technology*, 100(1), 488-491.

Abdelhadi, L. O.; Tricarico, J. M. (2009). Effects of stage of maturity and microbial inoculation at harvest on nutritive quality and degradability of grain sorghum whole-plant and head-chop silages. *Animal feed science and technology*, 152(3), 175-185.

AOAC. (2005). *Official methods of analysis of the Association Analytical Chemists*. 18th.ed. Gaithersburg.

Ávila, C. L. S., Carvalho, B. F., Pinto, J. C., Duarte, W. F., & Schwan, R. F. (2014). The use of *Lactobacillus* species as starter cultures for enhancing the quality of sugar cane silage. *Journal of Dairy Science*, 97(2), 940-951.

Bolsen, K. K., Lin, C., Brent, B. E., Feyerherm, A. M., Urban, J. E., & Aimutis, W. R. (1992). Effect of silage additives on the microbial succession and fermentation process of alfalfa and corn silages. *Journal of Dairy Science*, 75(11), 3066-3083.

Brito, G. S. M. S., Santos, E. M., de Araújo, G. G. L., de Oliveira, J. S., de Moura Zanine, A., Perazzo, A. F., ... & Cavalcanti, H. S. (2020). Mixed silages of cactus pear and gliricidia: chemical composition, fermentation characteristics, microbial population and aerobic stability. *Scientific Reports*, 10(1), 1-13.

Corsato, C. E., Scarpate Filho, J. A., & Sales, E. C. J. D. (2008). Teores de carboidratos em órgãos lenhosos do caqui em clima tropical. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 30(2), 414-418.

Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. T., & Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical chemistry*, 28(3), 350-356.

Ferreira, D. F. (2008). SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. *Revista symposium*, 6(2), 36-41.

Ferrero, F., Piano, S., Tabacco, E., & Borreani, G. (2019). Effects of conservation period and *Lactobacillus hilgardii* inoculum on the fermentation profile and aerobic stability of whole corn and sorghum silages. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(5), 2530-2540.

González, G.; Rodríguez, A. A. (2003). Effect of storage method on fermentation characteristics, aerobic stability and forage intake of tropical grasses ensiled in round bales. *Journal of Dairy Science*, 86(3), 926-933.

Gusha, J., Katsande, S., Zvinorova, P. I., & Ncube, S. (2013). The nutritional composition and acceptability of cacti (*Opuntia ficus indica*)-legume mixed silage. *Online Journal of Animal and Feed Research*, 3(2), 116-120.

Kung Jr, L., Robinson, J. R., Ranjit, N. K., Chen, J. H., Golt, C. M., & Pesek, J. D. (2000). Microbial populations, fermentation end-products, and aerobic stability of corn silage treated with ammonia or a propionic acid-based preservative. *Journal of dairy science*, 83(7), 1479-1486.

Kung Jr, L., Shaver, R. D., Grant, R. J., & Schmidt, R. J. (2018). Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. *Journal of dairy Science*, 101(5), 4020-4033.

Lima, R., Díaz, R. F., Castro, A., Hoedtke, S., & Fievez, V. (2011). Multifactorial models to assess responses to sorghum proportion, molasses and bacterial inoculant on in vitro quality of sorghum–soybean silages. *Animal feed science and technology*, 164(3-4), 161-173.

Lima, R., Lourenco, M., Diaz, R. F., Castro, A., & Fievez, V. (2010). Effect of combined ensiling of sorghum and soybean with or without molasses and lactobacilli on silage quality and in vitro rumen fermentation. *Animal feed science and technology*, 155(2-4), 122-131.

Macêdo, A. J. D. S., Santos, E. M., Araújo, G. G. L. D., Edvan, R. L., Oliveira, J. S. D., Perazzo, A. F., ... & Pereira, D. M. (2018). Silages in the form of diet based on spineless cactus and buffelgrass. *African Journal of Range & Forage Science*, 35(2), 121-129.

Mertens, D. R. (2002). Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beakers or crucibles: collaborative study. *Journal of AOAC international*, 85(6), 1217-1240.

Muck, R. E., Nadeau, E. M. G., McAllister, T. A., Contreras-Govea, F. E., Santos, M. C., & Kung Jr, L. (2018). Silage review: Recent advances and future uses of silage additives. *Journal of dairy science*, 101(5), 3980-4000.

Nogueira, M. D. S., Araújo, G. G. L., Santos, E. M., Gonzaga Neto, S., Oliveira, J. S., Perazzo, A. F., ... & Pereira, D. M. (2019). Feed alternatives with cactus forage silage for animal nutrition. *International Journal of Agriculture and Biology*, 22(6), 1393-1398.

Paiva, G., Gil, F., Freitas, P. M. D., Ramos, R., Aquino, M. M., & Santos, E. (2011). Perdas na ensilagem de cinco cultivares de sorgo. *SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE CAPRINOS E OVINOS DE CORTE*.

Pereira, G. A., Santos, E. M., Araújo, G. G. L., Oliveira, J. S., Pinho, R. M. A., Zanine, A. D. M., ... & Nascimento, T. V. C. (2019). 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*, 157(9-10), 684-692.

Sá, W. C. C. S., Santos, E. M., de Oliveira, J. S., de Araujo, G. G. L., Perazzo, A. F., da Silva, A. L., ... & Leite, G. M. (2020). Fermentative characteristics and chemical composition of cochineal nopal cactus silage containing chemical and microbial additives. *The Journal of Agricultural Science*, 1-9.

Santos, E. M., Pereira, O. G., Garcia, R., Ferreira, C. L. L. F., Oliveira, J. S., & Silva, T. C. (2014). Effect of regrowth interval and a microbial inoculant on the fermentation profile and dry matter recovery of guinea grass silages. *Journal of Dairy Science*, 97(7), 4423-4432.

Schmidt, P., Rossi Junior, P., Junges, D., Dias, L. T., Almeida, R. D., & Mari, L. J. (2011). Novos aditivos microbianos na ensilagem da cana-de-açúcar: composição bromatológica, perdas fermentativas, componentes voláteis e estabilidade aeróbia. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40(3), 543-549.

Schmidt, R. J., & Kung Jr, L. (2010). The effects of *Lactobacillus buchneri* with or without a homolactic bacterium on the fermentation and aerobic stability of corn silages made at different locations. *Journal of dairy science*, 93(4), 1616-1624.

Siegfried, R., Ruckemann, H., & Stumpf, G. (1984). Method for the determination of organic-acids in silage by high-performance liquid-chromatography. *Landwirtschaftliche Forschung*, 37(3-4), 298-304.

Sniffen, C. J., O'connor, J. D., Van Soest, P. J., Fox, D. G., & Russell, J. B. (1992). A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. *Journal of animal science*, 70(11), 3562-3577.

Tabacco, E., Piano, S., Cavallarin, L., Bernardes, T. F., & Borreani, G. (2009). Clostridia spore formation during aerobic deterioration of maize and sorghum silages as influenced by *Lactobacillus buchneri* and *Lactobacillus plantarum* inoculants. *Journal of applied microbiology*, 107(5), 1632-1641.

Tabacco, E., Piano, S., Revello-Chion, A., & Borreani, G. (2011). Effect of *Lactobacillus buchneri* LN4637 and *Lactobacillus buchneri* LN40177 on the aerobic stability, fermentation

products, and microbial populations of corn silage under farm conditions. *Journal of dairy science*, 94(11), 5589-5598.

Thomas, M. E., Foster, J. L., McCuiston, K. C., Redmon, L. A., & Jessup, R. W. (2013). Nutritive value, fermentation characteristics, and in situ disappearance kinetics of sorghum silage treated with inoculants. *Journal of Dairy Science*, 96(11), 7120-7131.

Zanine, A. D. M., Santos, E. M., Dórea, J. R. R., Dantas, P. A. D. S., Silva, T. C. D., & Pereira, O. G. (2010). Evaluation of elephant grass silage with the addition of cassava scrapings. *Revista Brasileira de Zootecnia*,

CAPÍTULO II

Efeito da palma forrageira como aditivo umidificador na produção da silagem de grão de milho reidratado

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da palma forrageira como aditivo umidificador sobre as características fermentativas, microbiológicas, estabilidade aeróbia, composição química e degradabilidade ruminal in situ da silagem de grão de milho em diferentes tempos de abertura. Foi utilizado um delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4×3 com quatro níveis de matéria seca (MS) (50; 60; 70 e 80 % de MS) e três períodos de aberturas (30; 60 e 120 dias após a ensilagem), com quatro repetições. Houve efeito de interação ($P < 0,05$) entre os níveis de MS e os períodos de abertura sobre a população de leveduras da silagem, perdas por efluente, perdas por gases, recuperação de matéria seca, estabilidade aeróbia (EA) e da silagem sobre as populações de bactérias do ácido láctico, mofo e leveduras, após o ensaio de EA. As maiores perdas por efluente foram observadas nos níveis 71,22 e 71,74% de MS aos 30 e 60 dias após a ensilagem, respectivamente. O menor tempo de EA foi observado para silagem com 64,93% de MS aos 60 dias após a ensilagem. A degradabilidade in situ da MS da massa ensilada aumentou após o processo de ensilagem em todos os níveis e períodos de abertura avaliados. Ao utilizar a palma forrageira como aditivo umidificador do grão de milho, recomenda-se o nível de 60% de MS quando o tempo de permanência da massa ensilada no silo for igual ou inferior a 120 dias.

Palavras-chave: bactérias do ácido láctico; degradabilidade; ensilagem; estabilidade aeróbia; perfil fermentativo

ABSTRACT

The present study aimed to evaluate the effects of cactus pear as a moistening additive on fermentative and microbiological characteristics, aerobic stability, chemical composition, and in situ rumen degradability of corn grain silage at different opening times. A completely randomized experimental design was adopted in a 4×3 factorial scheme with four levels of dry matter (DM) (50; 60; 70 and 80% of DM) and three opening times (30; 60 and 120 days after ensiling), with four replications. There was effect of interaction ($P < 0.05$) between the DM levels and opening times on silage yeast population, effluent losses, gas losses, dry matter recovery, aerobic stability (AS) of the silage, and on lactic acid bacteria, mold and yeast populations after AS trial. The greatest effluent losses were observed in the levels 71.22 and 71.74% of DM at 30 and 60 days after ensiling, respectively. The shortest AS time was observed in silages with 64.93% of DM at 60 days after ensiling. The in situ degradability of the DM of the ensiled mass increased after the ensiling process in all levels and opening times evaluated. When using the cactus pear as a corn grain moistening additive, the level of 60% of DM is recommended when the time of permanence of the ensiled mass in the silo is equal to or less than 120 days.

Keywords: aerobic stability; degradability; ensiling; fermentation profile; lactic acid bacteria

1 INTRODUÇÃO

O grão de milho é o principal cereal energético utilizado na composição das dietas de ruminantes, sendo este amplamente empregado nas fazendas leiteiras e em confinamentos. Contudo, em virtude da variação dos preços, oferta e qualidade desse grão durante o ano a sua ensilagem após moagem e reidratação vem sendo cada vez mais realizada, permitindo sua aquisição e armazenamento no período de menor preço.

Outro ponto que vale ressaltar é que os grãos dos híbridos de milho cultiváveis no Brasil são predominantemente de textura dura, chamados “*flint*”, devido à alta vitreosidade do endosperma. Essa característica é uma consequência do alto conteúdo de prolaminas, que propicia maior resistência à quebra mecânica durante a colheita e secagem. Porém, essa característica não favorece a nutrição de ruminantes, visto que as prolaminas que envolvem os grânulos de amido, impedem a atuação microbiana durante a degradação ruminal (Hoffman et al., 2011; Carvalho et al., 2017). Portanto, a silagem do grão de milho reidratado além de proporcionar redução nos custos de produção, principalmente no período de entressafra, melhora a digestibilidade do grão, resultando em maior eficiência produtiva dos animais, além de otimizar a mão de obra com processamento dos grãos (Hoffman et al., 2011; Gobetti et al., 2013).

Entretanto, a confecção dessa silagem possui algumas limitações, principalmente no que se refere a homogeneização da água ao grão moído, uma vez que este é um ponto fundamental para garantir a qualidade da silagem, além de que as silagens de grão de milho reidratado com água, geralmente apresentam difícil fermentação, devido à baixa concentração de carboidratos solúveis em água (CSA), baixa contagens de bactérias do ácido láctico (BAL) e consequentemente baixa estabilidade aeróbia. Portanto, essas silagens precisam de um maior tempo de permanência no silo para garantir um adequado processo fermentativo (Carvalho et al., 2017).

Carvalho et al. (2017); Da Silva et al. (2017) e Da Silva et al. (2019) observaram os mesmos problemas supracitados em suas pesquisas. Desse modo, faz-se necessário buscar alternativas que melhorem não só as características fermentativas, mas também a estabilidade aeróbia dessas silagens. Dessa maneira, a palma forrageira pode ser um promissor aditivo umidificador do grão de milho destinado a produção de silagem, visto que essa forrageira possui em sua composição até 90% de umidade e 120,0 g Kg⁻¹ de carboidratos solúveis em água (Nogueira et al., 2019), garantindo a umidade e substrato suficientes para assegurar uma boa

fermentação. Além do mais, dispensaria o uso da água na confecção dessa silagem em regiões Semiáridas, onde a disponibilidade de água pode ser restritiva.

Recentemente vêm sendo avaliado o potencial da palma forrageira como fonte de substrato em silagens para contornar problemas de fermentação (Macedo et al., 2018; Santos et al., 2020; Brito et al., 2020), melhorando o perfil fermentativo das silagens (Nogueira et al., 2019; Sá et al., 2020). Os resultados dessas pesquisas apontaram que a palma forrageira além de fornecer substrato, o que garante uma boa fermentação, resulta em fermentação heterolática, fazendo como que essas silagens tornem-se mais estáveis durante a exposição ao ar.

Pereira et al. (2020) identificaram em sua pesquisa predominância na palma da bactéria láctica do gênero *Weissella*, classificada como BAL heterofermentativa obrigatória. A prevalência de fermentação heterolática tem sido atribuída a presença de substâncias tamponantes na palma forrageira, que promovem uma queda menos acentuada do pH, possibilitando a proliferação de bactérias lácticas heterofermentativas (Sá et al., 2020; Pereira et al., 2020; Macêdo et al., 2018). Dessa forma, espera-se que a inclusão de palma forrageira na ensilagem do grão de milho resulte em silagens além de bem fermentadas, com elevada estabilidade aeróbia.

Portanto, o presente estudo tem como objetivo avaliar os efeitos da palma forrageira como aditivo umidificador sobre as características fermentativas, microbiológicas, estabilidade aeróbia, composição química e degradabilidade ruminal da silagem de grão de milho em diferentes tempos de abertura do silo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Local e material utilizado

A pesquisa foi conduzida nas dependências do Setor de Forragicultura, pertencente ao Departamento de Zootecnia da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), situada em Areia, Paraíba (6° 58'07 " S, 35° 44'03 " O; 627 m altitude), Brasil.

A palma forrageira (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck) utilizada foi a variedade Miúda, de um palmal já implantado no Instituto Nacional do Semiárido (INSA), com idade de rebrota de um ano.

O grão de milho seco e a palma forrageira foram processados em máquina forrageira estacionária (MC1001N Laboremus®). A máquina forrageira foi ajustada para que o tamanho da partícula da palma tivesse aproximadamente 1 cm² e o grão de milho seco foi triturado em malha de 5 mm.

Delineamento experimental utilizado

Foi utilizado um delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 4×3 com quatro níveis de matéria seca (MS) (50; 60; 70 e 80 % de MS) e três períodos de aberturas dos silos (30; 60 e 120 dias após a ensilagem), com quatro repetições. A palma forrageira foi utilizada como aditivo umidificador na confecção da silagem do grão de milho reidratado.

Confecção das silagens

As silagens foram confeccionadas em 48 silos experimentais de policloreto de polivinila (PVC), com 10 cm de diâmetro x 30 cm de altura. O grão de milho seco foi misturado manualmente com a palma forrageira até que as misturas atingissem os níveis de MS desejados (50; 60; 70 e 80% de MS). Para tanto, amostras de cladódios da palma forrageira foram previamente colhidos para determinação da matéria seca da planta, bem como amostras dos grãos de milho de acordo com a AOAC (2005), protocolo 934,01. Após determinados os teores de MS da palma e do milho, foram determinadas as proporções das misturas, para atingir os níveis de MS de cada tratamento. Após a mistura o material foi imediatamente compactado com soquetes de madeira para atingir uma densidade específica de aproximadamente 600 kg/m^3 de matéria natural em cada silo experimental.

Todos os silos experimentais foram adaptados com válvula tipo *Bunsen* para eliminação dos gases resultantes da fermentação. No fundo de cada silo foi adicionado 1 kg de areia seca, cuja camada foi coberta com tela de tecido não tecido (TNT) para captação dos efluentes. Ao final deste processo, os silos foram fechados, pesados e armazenados à temperatura ambiente em local coberto, seco e arejado até os momentos de abertura dos silos experimentais (30; 60 e 120 dias após a ensilagem).

Populações microbianas

As populações microbianas foram quantificadas, antes da ensilagem, nas aberturas dos silos e após o ensaio de estabilidade aeróbia de 120 horas, utilizando-se meios de cultura seletivos para cada grupo microbiano: ágar MRS (de Man, Rogosa e Sharpe), contendo 1,5 ml/L de ácido acético, para as bactérias do ácido lático (BAL) e ágar Batata Dextrose, contendo 1% de ácido tartárico a 10%, para os mofos e leveduras.

A quantificação dos grupos microbianos foi realizada a partir de 10 g de uma amostra das repetições de cada tratamento, nas quais foram adicionados 90 mL de solução tampão fosfato

esterilizada e homogeneizadas durante 1 minuto, obtendo-se a diluição de 10^{-1} . Em seguida, diluições sucessivas foram realizadas, objetivando-se obter diluições variando de 10^{-1} a 10^{-9} , e o cultivo foi realizado em placas de Petri estéreis descartáveis (González & Rodríguez, 2003).

As placas foram incubadas de acordo com as temperaturas de incubação específicas para cada grupo microbiano (Ávila et al. 2014; Santos et al. 2014). Para BAL, 37°C durante 48 horas e para mofos e leveduras, 28°C durante 72 horas. Foram consideradas passíveis de contagem as placas com valores entre 30 e 300 unidades formadoras de colônias (UFC/g de silagem).

Perfil fermentativo das silagens

Nos períodos de abertura de 30, 60 e 120 dias foram determinados os valores de pH e nitrogênio amoniacal (N-NH₃) seguindo a metodologia descrita por Bolsen et al. (1992). Para determinação do teor dos carboidratos solúveis em água (CSA), utilizou-se o método do ácido sulfúrico concentrado descrito por Dubois et al. (1956) com adaptações de Corsato et al. (2008).

Composição química das silagens

Foram coletadas amostras da silagem de grão de milho reidratado com palma forrageira de aproximadamente 300 g de cada repetição no dia da ensilagem e em seus diferentes períodos de abertura dos silos experimentais (30; 60 e 120 dias). As amostras foram pré-secas em estufa de ar forçado por 72 h à 60°C. Em seguida, essas amostras foram moídas em partículas de 1 mm em um moinho de facas Wiley e analisadas quanto às concentrações de matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), extrato etéreo (EE) e proteína bruta (PB) de acordo com AOAC (2005) métodos 934,01, 942,05, 920,39, 968,06, respectivamente.

Os teores de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) nas amostras foram determinados seguindo a metodologia descrita por Mertens (2002). Os carboidratos não fibrosos foram estimados pela seguinte fórmula desenvolvida por Sniffen et al. (1992): $CNF = 100 - (MM + PB + EE + FDN)$.

Tabela 1. Composição química, pH e contagem microbiana das misturas antes da ensilagem

Variáveis	Níveis de matéria seca (%)			
	50	60	70	80
Matéria seca (g/Kg)	514,9	605,6	670,3	782,8
Matéria orgânica (g/Kg de MS)	973,7	981,5	946,6	983,9
Proteína Bruta (g/Kg de MS)	81,3	84,2	82,7	87,1

Extrato Etéreo (g/Kg de MS)	36,2	35,7	40,9	37,6
Fibra em Detergente Neutro (g/Kg de MS)	112,2	103,5	104,9	117,5
Carboidrato Não Fibroso (g/Kg de MS)	744,0	758,1	755,1	741,7
Carboidratos Totais (g/Kg de MS)	856,2	861,6	860,0	859,2
BAL (log ₁₀ UFC/g de silagem)	4,3	5,7	4,9	4,2
Mofos (log ₁₀ UFC/g de silagem)	3,2	5,1	4,9	4,7
Leveduras (log ₁₀ UFC/g de silagem)	ND	3,5	3,5	1,9
pH	4,71	4,84	5,11	5,42

BAL = Bactérias do ácido lático; MS = Matéria seca; pH = Potencial hidrogeniônica

Perdas e recuperação de matéria seca da silagem

As perdas de matéria seca nas silagens sob as formas de efluentes e gases foram quantificadas por diferença de peso pelas equações descritas por Zanine et al. (2010):

$$PE = [(PVf - Tb) - (PVi - Tb)] / MFi \times 100$$

Onde, PE = perdas por efluentes (kg ton⁻¹ de matéria fresca); PVi = peso do silo vazio + areia no fechamento (kg); PVf = peso do silo vazio + areia na abertura (kg); Tb = peso do silo vazio (kg); MFi = massa de forragem no fechamento do silo (kg).

$$PG = (PCf - PCa) / (Mff \times MSf) \times 10000$$

Onde, PG = perdas por gases (% da matéria seca); PCf = peso do silo cheio no fechamento (kg); PCa = peso do silo cheio na abertura (kg); Mff = massa de forragem no fechamento do silo (kg); MSf = concentração de matéria seca da forragem no fechamento do silo (%).

A estimativa da recuperação de matéria seca (RMS) foi obtida por diferença de peso de matéria seca antes e após a ensilagem pela equação descrita por Zanine et al. (2010):

$$RMS = (MFa \times MSa) / (Mff \times MSf) \times 100$$

Onde, RMS = taxa de recuperação de matéria seca (%); MFa = massa da forragem na abertura do silo (kg); MSa = concentração de matéria seca da forragem na abertura do silo (%); Mff = massa da forragem no fechamento do silo (kg); MSf = concentração de matéria seca da forragem no fechamento do silo (%).

Estabilidade aeróbia

Em todos os períodos de abertura (30; 60 e 120 dias de ensilagem) foi avaliada a estabilidade aeróbia (EA) das silagens (expressa em horas) por meio do monitoramento da temperatura interna das silagens expostas ao ar durante um período de 120 horas. As amostras de silagem foram colocadas sem compactação em silos experimentais de PVC sem tampa e mantidas em ambiente fechado com temperatura controlada (25°C). Foi considerado o início da deterioração quando a temperatura interna das silagens atingiu 2°C acima da temperatura ambiente (Kung Jr et al., 2000).

Degradabilidade ruminal in situ da matéria seca

Para avaliar a degradabilidade ruminal *in situ* da MS, 1,3 g de amostras secas foram colocadas em sacos (modelo R1020; Ankom, New York, EUA; tamanho do poro = 50 ± 15 μm), conforme descrito por Nocek (1988). Foram utilizados quatro sacos, cada um oriundo de um silo experimental, por tratamento e por período de incubação. Para o ensaio de degradabilidade, foi utilizado um bovino Girolando macho, fistulado no rúmen, com peso médio de 600 kg.

Os períodos de incubação foram de 6, 12, 24, 48, 72 e 96 horas. Para realização do ensaio de degradabilidade, o animal foi mantido confinado durante todo o período de avaliação, recebendo capim-elefante triturado e 20% de concentrado. Os sacos do tempo zero ou fração solúvel (fração a), foram colocados em banho maria à 39°C durante uma hora. Os sacos dos demais tempos foram desencabados do rúmen e colocados em água gelada para interromper a fermentação. Posteriormente, foram lavados à mão, até que a água se tornasse límpida. Em seguida, os sacos foram colocados em estufa a 55 °C por 72 horas e pesados. Os brancos foram incubados pelo mesmo período para corrigir a contaminação por partículas.

As estimativas dos parâmetros da degradabilidade *in situ* da matéria seca foram realizadas com base no modelo não linear proposto por Sampaio (1997), a partir de simplificação do modelo exponencial proposto por Ørskov e McDonald (1979), expresso por $DP = A - B.e^{-c.t}$, em que, DP = percentagem real do nutriente degradado após t horas de incubação no rúmen; A = potencial máximo de degradação do material; B = fração potencialmente degradável do material que permanece após o tempo zero; c = taxa de degradação da fração remanescente após tempo zero; t = tempo de incubação.

A degradabilidade efetiva (DE) constitui à porcentagem de material que é realmente degradado no rúmen e foi estimada considerando-se as taxas de passagens de 2, 5 e 8%/h

(AFRC, 1993), taxas consideradas para volumosos de baixa qualidade e palhadas ou restolhos culturais; dietas compostas e volumosos de boa qualidade; e dietas ou ingredientes concentrados, respectivamente, utilizando-se a equação proposta por Ørskov e McDonald (1979), $DE = a + [(b \cdot c) / (c + k)]$, em que, DE = Degradação efetiva; a = fração solúvel, rapidamente degradada; b = fração insolúvel, lentamente degradada; c = taxa fracional de degradação de b; k = taxa de passagem.

Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e regressão utilizando-se o programa estatístico SAS 9.4 (SAS Institute, Cary, NC, USA). Interações significativas entre os fatores foram detalhadas. O efeito dos níveis de MS das silagens foi verificado por meio de análise de regressão. As equações de regressão foram escolhidas com base no coeficiente de determinação (R^2) e na significância dos coeficientes de regressão por meio do teste t utilizando $\alpha = 0,05$. O efeito das silagens dentro de cada período de abertura foi avaliado pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

O modelo estatístico usado foi o seguinte:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Onde:

- μ é a média da população;
- α_i é o efeito níveis de matéria seca
- β_j é o efeito Período de abertura;
- γ_{ij} é o efeito de interação entre os níveis de matéria seca \times Períodos de abertura;
- ϵ_{ijk} é o erro residual.

3 RESULTADOS

Contagem microbiana, perfil fermentativo e composição química das silagens

Houve interação ($P < 0,05$) entre os níveis de MS da silagem de grão de milho reidratado com palma forrageira e os períodos de abertura para população de leveduras da silagem. No entanto, não houve efeito ($P > 0,05$) dos níveis de MS da silagem aos 30 dias após a ensilagem, apresentando média de 5,60 \log_{10} UFC/g de silagem (Tabela 2). Observou-se efeito linear ($P <$

0,05), em função dos níveis de MS nos períodos de abertura de 60 e 120 dias após a ensilagem, com médias variando de 5,08 a 3,04 e 0,50 a 2,85 UFC/g de silagem, respectivamente (Tabela 2).

Houve diferença ($P < 0,05$) entre os períodos de abertura em todos os níveis de MS da silagem. Nos níveis de 50; 60 e 70% de MS as maiores populações de leveduras na silagem foram observadas aos 30 e 60 dias após a ensilagem, não diferindo entre si. Contudo, na silagem com 80% de MS a maior população foi observada aos 30 dias e as menores foram aos 60 e 120 dias após a ensilagem, não apresentando diferença significativa entre si.

Tabela 2. Efeito de interação entre níveis de matéria seca e períodos de abertura sobre a população de leveduras da silagem

¹ Períodos de abertura (dias)	Níveis de matéria seca (%)				EPM	L	Q	R ²
	50	60	70	80				
Leveduras								
30	5,43a	5,50a	5,03a	6,46a		0,290	0,224	-
60	5,08a	5,11a	4,41a	3,04b	0,547	0,008	0,211	89,11
120	0,50b	2,54 b	1,59b	2,85b		0,017	0,480	55,48
Médias	3,67	4,38	3,68	4,12				
P valor	0,0000	0,0008	0,0002	0,0000				

EMP = erro padrão da média; L = significância para efeito linear; Q = significância para efeito quadrático; R² = coeficiente de determinação

¹Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem de acordo com o teste de Tukey no nível de 5% de probabilidade.

Houve efeito linear ($P < 0,05$) para o valor de pH das silagens, em função dos níveis de MS da silagem de grão de milho reidratado com palma forrageira, com médias aumentando de 3,74 a 4,58. Entretanto, os valores de pH não diferem ($P > 0,05$) para os períodos de abertura dos silos, apresentando média geral de 3,96 (Tabela 3).

Observa-se efeito linear ($P < 0,05$) para as populações de BAL, em função dos níveis de MS das silagens, com médias variando de 5,32 a 6,33 log₁₀ UFC/g⁻¹ de silagem (Tabela 3). Houve efeito quadrático ($P < 0,05$) para população de mofos, com a menor população sendo observada no nível de 61,92% de MS. Concomitantemente, houve diferença ($P < 0,05$) entre os períodos de abertura, com maior população de BAL sendo observada aos 30 dias e menores aos

60 e 120 dias após a ensilagem, enquanto as maiores populações de mofo foram observadas aos 30 e 60 dias e a menor aos 120 dias após a ensilagem (Tabela 3).

Houve efeito linear ($P < 0,05$) sobre os teores de MS da silagem, com médias variando de 460,9 a 752,4 g kg. Contudo, não se observou efeito ($P > 0,05$) dos níveis de MS da silagem de grão de milho reidratado com palma forrageira sobre os teores de PB e EE, apresentando médias de 85,32 e 38,02 g Kg de MS de silagem (Tabela 3).

Observou-se diferença ($P < 0,05$) entre os períodos de abertura do silo apenas para os teores de MS da silagem, apresentando a maior média aos 120 dias e menores aos 30 e 60 dias após a ensilagem, não diferindo entre si. Não houve diferença ($P > 0,05$) entre os períodos de abertura sobre os teores de PB e EE da silagem, com médias gerais de 85,30 e 38,03 g Kg de MS de silagem (Tabela 3).

Tabela 3. Efeitos isolados na silagem de grão de milho reidratado com palma em função dos níveis de matéria seca e períodos de abertura

Variáveis	Níveis de matéria seca (%)				EPM	L	Q	R ²
	50	60	70	80				
pH	3,74	3,75	3,77	4,58	0,058	0,000	0,000	93,85
BAL (UFC/g ⁻¹ de silagem)	5,32	5,06	5,25	6,33	0,240	0,005	0,009	98,98
Mofo (UFC/g ⁻¹ de silagem)	3,98	2,94	3,84	4,59	0,402	0,119	0,025	84,53
Matéria Seca (g/Kg ⁻¹)	460,9	530,9	642,4	752,4	0,636	0,000	0,004	99,00
Proteína Bruta (g/Kg ⁻¹ de MS)	83,4	88,8	83,3	85,8	0,405	0,936	0,749	-
Extrato Etéreo (g/Kg ⁻¹ de MS)	41,2	41,2	33,4	36,3	0,269	0,073	0,598	-
	Períodos de abertura							
Variáveis ¹	(dias)			Médias	P valor			
	30	60	120					
pH	3,90	3,99	3,99	3,96		0,3160		
BAL (UFC/g de silagem)	7,01a	5,22b	4,23c	5,49		<0,0001		

Mofa (UFC/g de silagem)	4,32a	4,28a	3,04b	3,88	0,0200
Matéria Seca (g/Kg)	583,7b	590,4b	615,9a	596,67	0,0009
Proteína Bruta (g/Kg de MS)	78,6	87,4	89,8	8,53	0,0826
Extrato Etéreo (g/Kg de MS)	34,6	37,0	42,5	38,03	0,0672

BAL = Bactérias do ácido láctico; EMP = erro padrão da média; L = significância para efeito linear; Q = significância para efeito quadrático; R² = coeficiente de determinação

¹Médias seguidas pelas mesmas letras na linha não diferem de acordo com o teste de Tukey no nível de 5% de probabilidade.

Perdas por efluente, perdas por gases e recuperação de matéria seca

Houve interação ($P < 0,05$) entre os níveis de MS da silagem e períodos de abertura sobre as PE, PG e RMS da silagem de grão de milho reidratado com palma forrageira (Tabela 4).

Observou-se efeito quadrático ($P < 0,05$) para PE nos períodos de abertura de 30 e 60 dias, com as menores perdas sendo estimadas pelos modelos de regressão para os níveis de 71,22 e 71,74 % de MS, respectivamente (Tabela 4). Contudo, observou-se efeito linear ($P < 0,05$) para PE, em função dos níveis de MS da silagem de grão de milho reidratado com palma forrageira no período de abertura de 120 dias, com médias reduzindo de 70,17 a 4,17 Kg/t de MN (Tabela 4).

Em relação aos períodos de abertura, houve diferença ($P < 0,05$) entre os períodos de abertura dentro do nível de 50% de MS, com a maior PE foi observada aos 120 dias e menor aos 30 dias após a ensilagem (Tabela 4). Contudo, não houve diferença ($P > 0,05$) nas PE entre os períodos de abertura nos níveis de 60; 70 e 80% de MS, apresentando médias gerais de 6,92; 7,53 e 5,03, respectivamente (Tabela 4).

Observou-se efeito linear ($P < 0,05$) para PG nos períodos de abertura de 30; 60 e 120 dias, com médias reduzindo de 4,76 a 1,08, 5,85 a 1,38 e 7,65 a 1,75% de MS, respectivamente. Em relação aos períodos de abertura, houve diferença ($P < 0,05$) entre os períodos de abertura nos níveis de 50; 60 e 70% de MS. As maiores PG nos níveis de 50% de MS foram observadas aos 120 dias e menores aos 30 dias (Tabela 4). No nível de 60% de MS as maiores médias de PG foram constatadas aos 60 e 120 dias e a menor aos 30 dias após a ensilagem. Na silagem com 70% de MS o maior valor de PG foi constatado aos 120 dias e menores aos 30 e 60 dias

após a ensilagem, não diferindo entre si. Contudo, não houve diferença ($P > 0,05$) nas PG entre os períodos de abertura no nível de 80% de MS (Tabela 4).

Houve efeito linear ($P < 0,05$) na RMS das silagens, em função dos níveis de MS da silagem em todos os períodos de abertura, com médias variando de 944,65 a 988,20, 929,22 a 985,75 e 906,35 a 981,82 g/Kg^{-1} , respectivamente. Observou-se diferença ($P < 0,05$) entre os períodos de abertura nos níveis de 50; 60 e 80% de MS. A maior RMS no nível de 50% de MS foi observada aos 30 dias, enquanto, o menor foi observado aos 120 dias após a ensilagem (Tabela 4). No nível de 60% de MS a maior RMS foi observada aos 30 dias e as menores aos 60 e 120 dias após a ensilagem, não diferindo entre si. No nível de 70% de MS observaram-se as maiores médias aos 30 e 60 dias, não apresentando diferença entre si, e a menor aos 120 dias após a ensilagem. Entretanto, não houve diferença ($P > 0,05$) entre os períodos de abertura no nível de 80% de MS, apresentando média geral de 985,26 g/Kg (Tabela 4).

Tabela 4. Efeito de interação em função dos níveis de matéria seca e períodos de abertura sobre as perdas por efluente, gases e recuperação de matéria seca durante o processo de ensilagem

¹ Períodos de abertura (dias)	Níveis de matéria seca (%)				EPM	L	Q	R ²
	50	60	70	80				
Perdas por efluente (Kg/ton de MN)								
30	31,52c	6,42a	7,00a	6,33a		<0,001	<0,001	92,22
60	50,16b	5,46a	9,61a	4,58a	2,679	<0,001	<0,001	88,31
120	70,17a	8,88a	5,97a	4,17a		<0,001	<0,001	94,65
Médias	50,62	6,92	7,53	5,03				
P valor	0,0000	0,6497	0,6136	0,8328				
Perdas por gases (% de MS)								
30	4,76c	3,96b	1,87b	1,08a		<0,001	0,996	96,33
60	5,85b	5,37a	2,65b	1,38a	0,266	<0,001	0,152	93,99
120	7,65a	6,05a	4,17a	1,75a		<0,001	0,129	99,10
Médias	6,09	5,13	2,90	1,40				
P valor	0,0000	0,0000	0,0000	0,2154				
Recuperação de matéria seca (g/Kg^{-1})								
30	944,65a	959,05a	979,87a	988,20a		<0,001	0,268	97,69
60	929,22b	945,15b	971,62a	985,75a		<0,001	0,741	98,61
120	906,35c	937,6b	957,05b	981,82a	0,270	<0,001	0,239	99,18

Médias	926,74	947,27	969,51	985,26
P valor	0,0000	0,0000	0,0000	0,2519

EMP = erro padrão da média; L = significância para efeito linear; Q = significância para efeito quadrático; R² = coeficiente de determinação

¹Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem de acordo com o teste de Tukey no nível de 5% de probabilidade.

Estabilidade aeróbia da silagem e contagem microbiana após o tempo de exposição ao ar

Houve interação ($P < 0,05$) entre os níveis de MS da silagem e os períodos de abertura sobre a EA das silagens, expressa em horas (Tabela 5). Observou-se efeito linear dos níveis de MS ($P < 0,05$) na EA nos períodos de abertura de 30 e 120 dias após a ensilagem, com o tempo de EA reduzindo de 120,00 a 56,37 e 120,00 a 102,25 horas. No entanto, houve efeito quadrático ($P < 0,05$) no período de abertura de 60 dias, estimando-se pelo modelo de regressão menor tempo de EA no nível de 64,93% de MS (Tabela 5).

Com relação aos períodos de abertura, não foi observada diferença ($P > 0,05$) no tempo de EA no nível de 50% de MS, apresentando média geral de 120 horas (Tabela 5). Contudo, houve diferença ($P < 0,05$) entre os períodos de abertura nos níveis de 60; 70 e 80% de MS (Tabela 5). O maior tempo de EA no nível de 60% de MS foi observado aos 120 dias e menores aos 30 e 60 dias após a ensilagem, não diferindo entre si. Nos níveis de 70 e 80% de MS os maiores tempos de EA foram constatados aos 60 e 120 dias, não diferindo entre si, e menor aos 30 dias após a ensilagem (Tabela 5).

Tabela 5. Efeito de interação em função dos níveis de matéria seca e períodos de abertura sobre a estabilidade aeróbia da silagem

¹ Períodos de abertura (dias)	Níveis de matéria seca (%)				EPM	L	Q	R ²
	50	60	70	80				
Estabilidade aeróbia (horas)								
30	120,00a	92,62b	78,87b	56,37b		<0,001	0,635	98,54
60	120,00a	96,52b	107,50a	116,75a	5,0934	0,957	0,003	80,36
120	120,00a	117,00a	104,12a	102,25a		0,006	0,913	90,82
Médias	120,00	102,05	96,83	91,79				
P valor	1,0000	0,0034	0,0005	0,0000				

EMP = erro padrão da média; L = significância para efeito linear; Q = significância para efeito quadrático; R² = coeficiente de determinação

¹Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem de acordo com o teste de Tukey no nível de 5% de probabilidade.

Houve interação ($P < 0,05$) entre os níveis de MS da silagem e períodos de abertura sobre as populações de BAL, mofos e leveduras após o ensaio de estabilidade aeróbia da silagem (Tabela 6).

Tabela 6. Efeito de interação em função dos níveis de matéria seca e períodos de abertura sobre a contagem de BAL, Mofo e leveduras após o ensaio de estabilidade aeróbia da silagem

¹ Períodos de abertura (dias)	Níveis de matéria seca (%)				EPM	L	Q	R ²
	50	60	70	80				
Bactérias do ácido láctico (Log_{10} UFC/g ⁻¹ de silagem)								
30	8,17a	8,12a	8,08a	7,19a		0,020	0,135	67,78
60	7,46a	7,55a	7,63a	6,10b	0,272	0,002	0,005	91,89
120	5,45b	6,44b	8,24a	6,58ab		<0,001	<0,001	77,54
Médias	7,03	7,37	7,98	6,62				
P valor	0,0000	0,0004	0,2659	0,0260				
Mofo (Log_{10} UFC/g ⁻¹ de silagem)								
30	2,57b	<2,00b	<2,00b	4,25a		0,240	0,001	98,92
60	6,79a	7,24a	<2,00b	<2,00b	0,940	<0,001	0,813	77,31
120	<2,00b	<2,00b	4,62a	3,25ab		0,002	0,471	62,87
Médias	3,12	2,41	2,31	2,50				
P valor	0,0000	0,0000	0,0012	0,0075				
Leveduras (Log_{10} UFC/g ⁻¹ de silagem)								
30	8,01a	8,59a	8,47a	6,86a		0,009	0,001	98,40
60	7,68a	8,07a	8,83a	6,13a	0,289	0,005	<0,001	80,90
120	5,07b	6,47b	8,60a	6,01a		0,001	<0,001	77,76
Médias	6,92	7,71	8,63	6,33				
P valor	0,0000	0,0000	0,6711	0,0895				

EMP = erro padrão da média; L = significância para efeito linear; Q = significância para efeito quadrático; R² = coeficiente de determinação

¹Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem de acordo com o teste de Tukey no nível de 5% de probabilidade.

Observou-se efeito linear ($P < 0,05$) sobre a população de BAL após o ensaio de EA do período de abertura de 30 dias após a ensilagem, com a população reduzindo de 8,17 a 7,19 \log_{10} UFC/g de silagem. Contudo, houve efeito quadrático ($P < 0,05$) aos 60 dias, estimando-se pico populacional no nível de 60,42% de MS. Entretanto, após o ensaio de EA do período de abertura de 120 dias, observou-se efeito quadrático ($P < 0,05$), com a menor população sendo estimada para o nível de 69,25% de MS (Tabela 6).

Houve diferença ($P < 0,05$) entre os períodos de abertura nos níveis de 50; 60 e 80% de MS. A maior população de BAL após o ensaio de EA nos níveis de 50 e 60% de MS foram observados aos 30 e 60 dias após a ensilagem (Tabela 6). No nível de 80% de MS a maior população de BAL foi constatada aos 30 dias e as menores aos 60 e 120 dias após a ensilagem. Entretanto, não houve diferença ($P > 0,05$) entre os períodos de abertura no nível de 70% de MS, apresentando média geral de 7,98 \log_{10} UFC/g⁻¹ de silagem (Tabela 6).

Observou-se efeito quadrático ($P < 0,05$) na população de mofos após o ensaio de EA do período de abertura 30 dias após a ensilagem, com a menor população sendo estimada pelo modelo de regressão no nível de 63,75% de MS. Houve efeito linear ($P < 0,05$) sobre a população de mofos aos 60 dias, com médias reduzindo de 6,79 a <2,00 \log_{10} UFC/g de silagem. Observou-se efeito linear ($P < 0,05$) sobre a população de mofo após o ensaio de EA do período abertura de 120 dias após a ensilagem, com média variando positivamente de <2,00 a 3,25 \log_{10} UFC/g de silagem (Tabela 6)

Houve diferença ($P < 0,05$) significativa entre os períodos de abertura em todos os níveis de MS da silagem. A maior população de mofos após o ensaio de EA nos níveis de 50 e 60% de MS foram observados aos 60 dias e menores nos períodos de 30 e 120 dias após a ensilagem, não diferindo entre si (Tabela 6). No nível de 70% de MS a maior população de mofos foi observada aos 120 dias, no entanto, não foram detectadas a presença de mofo nas silagens após o ensaio de EA dos períodos de abertura de 30 e 60 dias após a ensilagem (Tabela 6). No nível de 80% de MS a maior população de mofo foi observada aos 30 dias e os menores aos 60 e 120 dias após o ensaio de EA (Tabela 6).

Observou-se efeito quadrático ($P < 0,05$) na população de leveduras após o ensaio de EA dos períodos de abertura de 30; 60 e 120 dias após a ensilagem, com as maiores populações sendo estimadas pelos modelos de regressão nos níveis de 62,51; 62,57 e 68,07% de MS, respectivamente (Tabela 6). Em relação aos períodos de abertura, observou-se diferença ($P < 0,05$) entre os períodos de abertura nos níveis de 50 e 60% de MS, com as maiores populações de leveduras após o ensaio de EA observadas nos períodos abertura de 30 e 60 dias e menores aos 120 dias após a ensilagem, respectivamente. Contudo, não houve diferença ($P > 0,05$) entre

os períodos de abertura nos níveis de 70 e 80% de MS, apresentando médias gerais de 8,63 e 6,33 \log_{10} UFC/g de silagem (Tabela 6).

Degradabilidade Ruminal in situ da matéria seca da silagem

Observou-se que a degradabilidade da fração solúvel da massa ensilada aumentou após o processo de ensilagem. A silagem com 60% de MS atingiu o pico aos 30 dias, reduzindo aos 60 dias e estabilizando-se até o período de abertura de 120 dias. A silagem com 50% de MS atingiu o pico aos 60 dias e reduziu até os 120 dias após a ensilagem. As degradabilidades da fração solúvel das silagens com 70 e 80% de MS aumentaram a partir do período de abertura de 30 dias, atingindo pico aos 60 dias e estabilizando-se até os 120 dias após a ensilagem (Figura 1 – A).

As silagens com 50 e 80% de MS apresentaram as maiores frações insolúveis potencialmente degradáveis aos 30 dias, reduzindo aos 60 dias e voltando a aumentar no período de abertura de 120 dias. A silagem com 60% de MS apresentou a menor fração insolúvel potencialmente degradável quando comparada as demais silagens aos 30 dias e voltando a aumentar até atingir o pico aos 120 dias após a ensilagem. A silagem com 70% de MS apresentou a menor valor da fração insolúvel potencialmente degradável aos 60 dias, estabilizando-se até o período de abertura de 120 dias (Figura 1 – B).

As silagens com 50 e 60% de MS apresentaram os maiores valores da MS potencialmente degradável aos 30 dias após a ensilagem. Contudo, o valor da MS potencialmente degradável da silagem com 50% de reduziu aos 60 dias, estabilizando-se até o período de abertura de 120 dias, enquanto na silagem com 60% de MS aumentou linearmente até os 120 dias após a ensilagem (Figura 1 – C). A silagem com 70% de MS apresentou o menor valor da MS potencialmente degradável aos 30 dias, aumentando aos 60 dias, estabilizando-se até o período de abertura de 120 dias. A silagem com 80% de MS atingiu o pico da MS potencialmente degradável aos 30 dias, reduzindo aos 60 dias, voltando a aumentar até o período de abertura de 120 dias (Figura 1 – C).

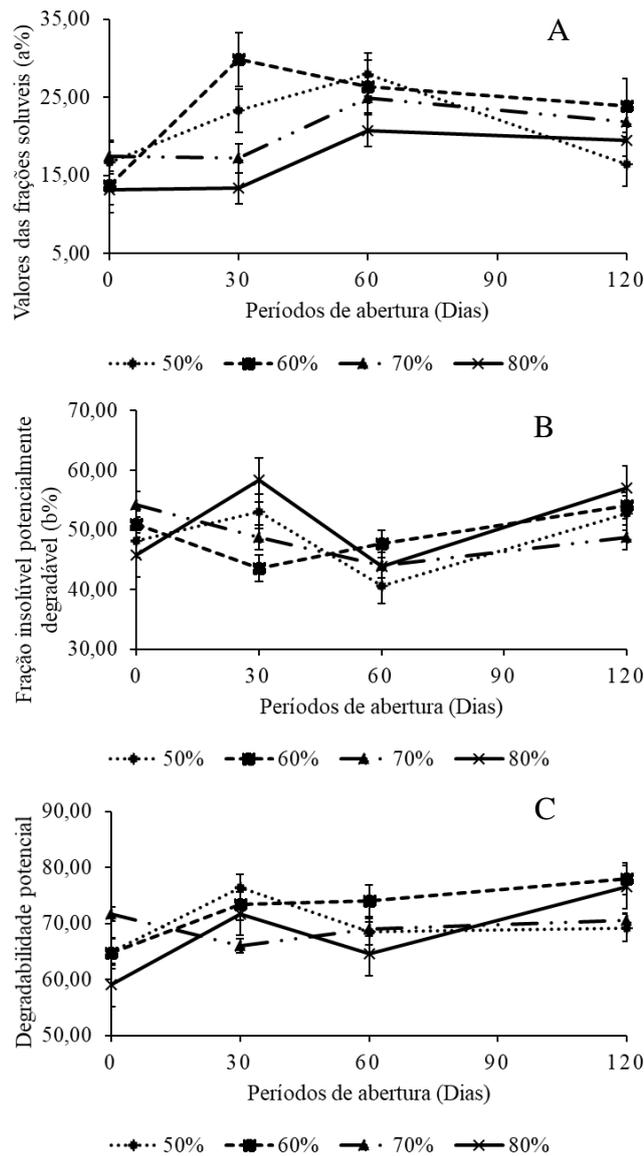


Figura 1. Valores médios dos níveis de MS das silagens de grão de milho reidratado com palma forrageira de acordo com os períodos de abertura dos silos para fração solúvel (A); fração insolúvel potencialmente degradável (B) e matéria seca potencialmente degradável (C).

Observou-se que a degradabilidade efetiva das silagens se comportou semelhantemente nas diferentes taxas de passagens (2; 5 e 8% por hora). As silagens com 50 e 60% de MS apresentaram o pico de degradabilidade efetiva nas três taxas de passagem aos 30 dias após a ensilagem. Contudo, a silagem com 60% de MS apresentou redução aos 60 dias, estabilizando-se até o período de 120 dias, enquanto, a silagem com 50% de MS se estabilizou até os 60 dias e reduziu a degradabilidade efetiva até o período de abertura de 120 dias (Figura 2 – A; B e C).

A silagem com 70% de MS apresentou os menores valores de degradabilidade efetiva aos 30 dias, aumentando aos 60 dias, estabilizando-se até o período de abertura de 120 dias. A silagem com 80% de MS apresentou um aumento da degradabilidade efetiva até atingir o pico no período de abertura de 120 dias (Figura 2 – A; B e C).

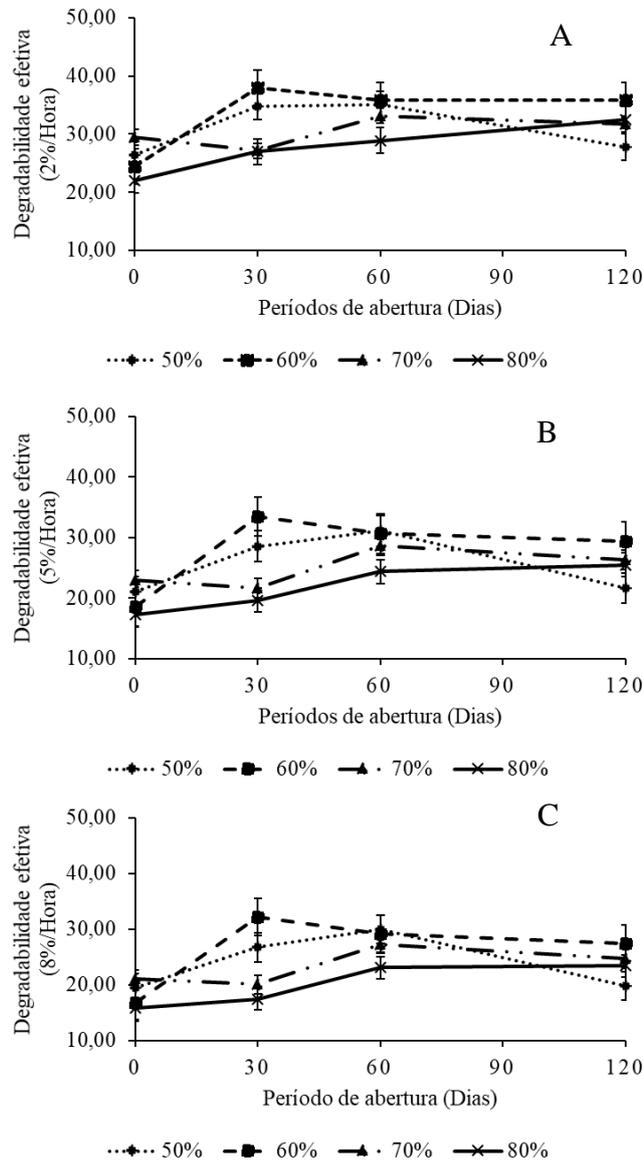


Figura 2. Valores médios dos níveis de MS das silagens de grão de milho reidratado com palma forrageira de acordo com os períodos de abertura dos silos para degradabilidade efetiva (2%/hora) (A); degradabilidade efetiva (5%/hora) (B) e degradabilidade efetiva (8%/hora) (C).

4 DISCUSSÃO

Contagem microbiana, perfil fermentativo e composição química das silagens

As silagens avaliadas no presente estudo apresentaram valores de pH de 3,74 a 4,58, observando-se elevada contagem de leveduras (\log_{10} UFC/g de silagem) nos tempos de 30 e 60 dias a pós a ensilagem, inclusive, aproximando-se numericamente a contagem de BAL (\log_{10} UFC/g de silagem). Algumas estirpes de leveduras (ex.: *Saccharomyces*, *Candida*, *Cryptococcus* e *Pichia* spp.) possuem a capacidade de assimilar o ácido láctico podendo desenvolver-se bem em faixa de pH entre 3 e 8 (Tabacco et al., 2009).

Entretanto, a medida em que se avançou o tempo de preservação da massa ensilada a contagem de leveduras reduziu de forma linear (Tabela 2). Carvalho et al. (2017) ao identificar as BAL e leveduras envolvidas na fermentação da silagem de grão de milho reidratado com água, observaram uma redução na população de leveduras a partir dos 30 dias de fermentação (5,16 \log_{10} UFC/g de silagem), no entanto, a população de leveduras observadas aos 280 dias de fermentação (3,63 \log_{10} UFC/g de silagem) foi maior que as observadas no período de abertura de 120 dias observadas no presente estudo. A redução mais acentuada da população de leveduras observadas no presente trabalho em comparação a outros estudos com silagem de milho reidratado com água pode ser devido a maior ocorrência de fermentação heterolática. Sá et al. (2020) avaliando silagens de palma forrageira aditivadas com ureia e *Lactobacillus Buchneri*, observaram para silagens de palma forrageira sem aditivo valores de pH, ácido láctico e ácido acético de 3,46, 6,20 e 16,30 g/Kg^{-1} , respectivamente, o que resultou em reduzidas populações de leveduras.

Efeito semelhante foi observado a medida em que se elevaram os níveis de MS da silagem. Isso possivelmente está relacionado a atividade da água (AW), nas silagens com 70 e 80% de MS (Tabela 2), visto que as leveduras precisam de uma atividade de água (AW) maior que 0,60 (Beuchat, 1981). De acordo com Jobim et al. (2007) a AW, expressa em escala 0 a 1, é um fator determinante para o desenvolvimento de microrganismos que participam dos processos fermentativos da silagem. Dessa maneira, nos níveis de MS maiores, apesar das menores proporções de palma, pode ter havido um controle da fermentação por leveduras, em função da redução da atividade de água.

Recuperação de matéria seca e perdas por efluente e gases

A silagem grão de milho reidratado com palma forrageira no nível de 50% de MS e aos 120 dias após a ensilagem apresentou elevadas PE (70,17 kg/ton de MV) (Tabela 4), o que se deve ao aumento do teor de umidade. Sá et al. (2020) avaliando as características fermentativa e composição química da silagem palma forrageira, observaram valores de PE de 12 Kg/ton de

MV. Os autores associam esse resultado ao teor de umidade elevado em função da idade da palma forrageira no momento da ensilagem.

O teor de MS dos cladódios da palma forrageira possui estreita relação com a idade do palmal, de modo que, quanto mais jovem é a planta, maior o teor de umidade menor é a quantidade de mucilagem em seus cladódios (Gusha et al., 2013; Nogueira et al., 2019). No estudo desses autores, a palma tinha uma idade de rebrotação de 2 anos, enquanto no presente estudo a palma foi colhida após um ano de rebrotação. No entanto, como objetivo era reidratar o grão de milho, optou-se no presente estudo por avaliar uma palma com maior teor de umidade, não obstante resultasse em maior perda por efluente, nos níveis de maior inclusão de palma.

Entretanto, no nível de 70% de MS as silagens, observou-se mínima PE (< 10 Kg/ton de MV) (Tabela 4). Oliveira et al. (2019) avaliando a incorporação de uma enzima amilolítica na silagem de grão de milho reidratado, constataram PE de 57,9 Kg/ton de MV. Portanto, atribui-se como uma das vantagens de reidratar o milho com a palma forrageira o fato das reduzidas perdas por efluente, em função da presença da mucilagem. A mucilagem é composta por hidrocolóides formados por polissacarídeos (ramnose, arabinose, galactose e xilose) altamente hidrofílicos que minimizam a movimentação da água e, assim, pode reduzir as perdas por efluente (Nogueira et al. 2019). Apesar da quantidade de mucilagem não ser muito elevada, em função da idade do palmal, nos teores de MS a partir de 70%, já foi suficiente para controlar as perdas de efluente das silagens.

A redução das PG em função dos níveis de MS da silagem, principalmente nos níveis de 70 e 80% de MS (Tabela 4) podem estar associadas a inibição da proliferação de microrganismos indesejáveis, como Enterobactérias e *Clostridium*, devido à falta de substratos fermentáveis, desacelerando um processo fermentativo da silagem, visto que a palma forrageira foi utilizada como aditivo umidificador do grão de milho e fonte de substrato. Contudo, houve um aumento das PG no período abertura de 120 dias, no entanto com valores ainda considerados baixos com McDonald et al. (1991).

Embora as PG tenham aumentado aos 120 dias após a ensilagem, os resultados observados no presente estudo assemelham-se aos das silagens de grão de milho reidratado com água, como constatado por Ávila et al. (2019), que observaram valores de 6,3% para PG. Entretanto, os autores avaliaram apenas um período de abertura (90 dias após a ensilagem do material). De acordo com Carvalho et al. (2016) as silagens de milho reidratado com água possuem lenta fermentação e conseqüentemente lenta redução dos valores de pH, o que está associado a baixa concentração de substratos fermentáveis pelas BAL que os convertem a ácido

lático. No caso da reidratação com a palma, a fermentação possivelmente é mais acelerada, resultando em maior controle de fermentações secundárias.

Assim como nas PG, a RMS foi influenciada pela quantidade de palma forrageira utilizada para reidratar o grão de milho no momento da ensilagem, com a silagem com 50% de MS apresentando os menores valores de RMS. Embora as silagens de modo geral tenham reduzido a recuperação de RMS no período de abertura de 120 dias após a ensilagem, pode-se dizer que todas as silagens apresentaram uma elevada RMS ($> 900 \text{ g/Kg}^{-1}$), principalmente a partir do nível de 60% de MS todas as silagens apresentam valores de RMS maiores que $930,00 \text{ g/Kg}^{-1}$.

Os resultados do presente estudo para RMS são maiores que os observados por Oliveira et al. (2019) ao avaliarem a silagem de grão de milho reidratado com água. Os autores constataram uma RMS de $873,00 \text{ g/Kg}^{-1}$ de MS. Assim, pode-se dizer que ao utilizar-se a palma forrageira como aditivo umidificador do grão de milho a fermentação da silagem torna-se mais intensa, principalmente em níveis abaixo de 80% de MS, acelerando a queda do pH da massa ensilada e inibindo o desenvolvimento de microrganismos indesejados, como: *Bacillus Listeria*, *Clostridium* e Enterobactérias (Kung Jr et al., 2018), podendo assim resultar em maior recuperação de matéria seca.

Estabilidade aeróbia da silagem e contagem microbiana após o tempo de exposição ao ar

Um ponto importante na produção e utilização de silagens é a sua deterioração aeróbia, sendo as leveduras os principais microrganismos envolvidos nesse processo, pelo fato de iniciarem a quebra da estabilidade, em função da metabolização do ácido lático, o que leva a um aumento do pH das silagens (Tabacco et al. 2009; Tabacco et al., 2011). Embora a contagem de leveduras observadas na tabela 2 seja considerada alta para silagens bem fermentadas, pode-se dizer que essa população de leveduras não está associada a quebra da EA das silagens.

Wang et al. (2018) investigando a associação entre espécies de leveduras e o tempo da EA das silagens de milho e na forma de ração, concluíram que a deterioração aeróbia da silagem não está relacionada exclusivamente a quantidade de leveduras (\log_{10} UFC/g de silagem), mas sim, às espécies de levedura predominantes na massa ensilada quando exposta ao ar.

Vale salientar que a palma forrageira proporciona para a massa ensilada uma fermentação heterolática, o que possivelmente resulte em maior concentração de ácido acético. Pereira et al. (2020) avaliando o potencial das BAL isoladas da palma forrageira como potenciais inoculantes, observaram predominância nas plantas de palma forrageira de bactérias lácticas do gênero *Weissella*, classificadas como BAL heterofermentativas obrigatórias. Espécies

heteroláticas obrigatórias, melhoram a estabilidade aeróbia devido a maior produção de ácido acético (Muck et al., 2018).

Sá et al. (2020) avaliando o efeito de diferentes aditivos sobre as características fermentativas da silagem de palma forrageira, não observam quebra da EA em suas silagens. Isso possivelmente está associado ao perfil fermentativo heterolático da silagem de palma. Portanto, o efeito aditivo da palma forrageira sobre as características fermentativas e estabilidade aeróbia das silagens do presente estudo só são observadas nos níveis inferiores à 80% de MS, devido a quantidade de palma forrageira utilizada nesses níveis. Embora a silagem com 50% de MS tenha obtido maior EA (>120 horas) em todos os períodos de abertura quando comparada aos demais níveis de MS (Tabela 5), observou-se a maior perda durante o processo de ensilagem (Tabela 4). Dessa forma, a elevada estabilidade aeróbia das silagens nesse nível de MS não pode ser levada em consideração isoladamente para a tomada de decisão sobre qual nível de MS utilizar.

Da Silva et al. (2017); Da Silva et al. (2018); Da Silva et al. (2019); Rezende et al. (2014) e Silva et al. (2016) observaram em suas silagens de milho reidratado com água (sem aditivo) um tempo de EA inferior aos observados no presente estudo. Portanto, os resultados do presente estudo sugerem que as silagens de grão de milho reidratado com palma forrageira são mais estáveis quando expostas ao ar que a silagem de grão de milho reidratado com água, muito provavelmente em função de fermentação heterolática, a qual tem sido amplamente reportada na literatura para silagens contendo palma forrageira (Sá et al., 2020; Santos et al., 2020; Pereira et al., 2020).

O aumento do número de BAL (\log_{10} UFC/g de silagem) após o ensaio de 120 horas da EA (Tabela 6), em relação a população de BAL no momento da abertura silo (Tabela 3) está associado ao fato desses microrganismos serem anaeróbios facultativos. Quando o oxigênio entra em contato com a massa ensilada, tem sido observado um retorno do crescimento da população de BAL, quando há presença de substratos na massa ensilada, conforme observado por Sá et al. (2020) e Santos et al. (2018), os quais observaram aumento da população de BAL durante o teste da EA das silagens.

Embora tenha-se observado um aumento na população de BAL na silagem após o ensaio de EA, essa população não foi capaz de inibir por completo a população de mofos e leveduras (\log_{10} UFC/g de silagem) da silagem de grão de milho reidratado com palma forrageira (Tabela 6). Ainda que tenha ocorrido um aumento na população de leveduras durante o ensaio de EA, esse aumento populacional não afetou o tempo da EA das silagens (Tabela 5), o que pode estar associado a inibição direcionada de leveduras utilizadoras de ácido lático, em função da elevada

concentração de ácido acético nas silagens (Sá et al., 2020; Santos et al., 2020; Pereira et al., 2020).

Degradabilidade Ruminal in situ da matéria seca da silagem

O efeito aditivo da palma forrageira foi observado durante o ensaio de degradabilidade *in situ* da matéria seca das silagens. Os carboidratos solúveis em água da palma foram rapidamente convertidos a ácido lático, fazendo com que as silagens com 50 e 60% de MS apresentassem uma fermentação mais intensa quando comparada aos demais níveis (70 e 80% de MS).

Essa característica fermentativa da silagem de grão de milho reidratado com palma forrageira, fez com que a silagem com 60% de MS apresentasse a maior taxa de degradabilidade da fração solúvel logo aos 30 dias após a ensilagem. Embora a silagem com 50% de MS tenha mais substratos fermentáveis, as substâncias tamponantes presentes na palma podem ter desacelerado seu processo fermentativo e consequentemente sua taxa de degradabilidade da fração solúvel (Figura 1 – A).

As silagens com 70 e 80% de MS atingiram o valor máximo da degrada da fração solúvel aos 60 dias se estabilizando até o período de abertura de 120 dia após a ensilagem. Embora essas silagens tenham apresentado valor máximo aos 60 dias, seus valores de degradabilidade da fração solúvel foram inferiores as observadas nas silagens com 50 e 60% de MS (Figura 1 – A). Isso provavelmente está associado a redução da quantidade de palma na mistura e consequentemente de substrato a medida em que se elevaram os níveis de MS da silagem.

O efeito da menor quantidade de substrato nos níveis de 70 e 80% de MS se assemelha aos observados em silagens de grão de milho reidratado com água. Arcari et al. (2016); Carvalho et al. (2017); Da Silva et al. (2019) e Hoffman et al. (2011) observaram em suas pesquisas que a degradabilidade da MS ou amido em silagens de grão de milho reidratado com água está relacionada ao tempo em que o material permaneceu no silo. Portanto, quanto maior for o tempo em que a massa ensilada permanece no silo, maior será sua taxa de degradabilidade.

A fração insolúvel potencialmente degradável é inversamente relacionada a fração solúvel, de modo que, apenas a silagem com 60% de MS apresentou a menor fração insolúvel durante o período de abertura de 30 dias. As demais silagens apresentaram a menor fração insolúvel aos 60 dias (Figura 1 – B).

Assim como na figura 1 – A, a quantidade de substratos fermentáveis nos níveis de 50 e 60% de MS influenciaram positivamente a MS potencialmente degradável no período de 96 horas, com o nível de 50% de MS obtendo pico aos 30 dias, enquanto o nível de 60% de MS aumenta linearmente (Figura 1 – C).

Em relação a degradabilidade efetiva em função das taxas de passagem (2; 5 e 8% por hora) a silagem com 60% de MS apresentou a maior degradabilidade efetiva independentemente da taxa de passagem, quando comparada as demais silagens (Figura 2 – A, B e C). Segundo Hoffman et al. (2011) durante processo ensilagem dos grãos de milho ocorrem proteólises, o que resulta na degradação da matriz proteica que envolve os grânulos de amido, explicando o incremento na degradabilidade ruminal. Portanto, o uso da palma forrageira como aditivo umidificador do grão de milho intensifica o processo fermentativo do grão, quando comparado aos resultados encontrados na literatura para silagem de grão de milho reidratado com água (Arcari et al., 2016; Carvalho et al., 2017; Da Silva et al., 2018; Da Silva et al., 2019; àvila et al., 2019). Além da silagem de grão de milho reidratado com palma apresentar incremento da degradabilidade já nos primeiros 30 dias do processo fermentativo, o que é importante, pois permite a abertura dos silos e uso da silagem mais precocemente do que as recomendações para silagem de milho reidratado com água.

Avaliando os resultados dessa pesquisa, a silagem com 50% de MS apresentou maior tempo de EA (> 120 horas), bem como, resultou nas maiores perdas (PE e PG) e menor RMS durante o processo fermentativo em todos os períodos de abertura. Embora as silagens com 60 e 70% de MS tenham apresentado boas características fermentativas e elevada EA, principalmente aos 60 dias após a ensilagem, observaram-se as mínimas perdas e elevada RMS durante o processo de ensilagem no nível de 70% de MS.

Entretanto, foi constatado durante toda a pesquisa que o processo fermentativo da silagem com 70% de MS foi menos intenso que o da silagem com 60% de MS, o que refletiu diretamente na degradabilidade da MS da silagem. Desse modo, pode-se dizer que a necessidade do uso da silagem de grão de milho determinará o nível de MS da silagem a ser utilizada. Portanto, se o tempo de permanência da massa ensilada no silo for de 120 dias o mais indicado será o nível com 70% de MS. Contudo, se o tempo de permanência da massa ensilada no silo for menor a 120 dias, o nível mais indicado será o de 60% de MS, tendo em visto os valores de perdas (inferior a 10 Kg/ton de MS) e RMS (superior a 930,00 g Kg de MS), além do mais, esse nível de MS apresentou a maior degradabilidade da MS, o que reflete positivamente no desempenho dos animais alimentados com essa silagem.

5 CONCLUSÃO

Ao utilizar-se a palma forrageira como aditivo umidificador do grão de milho, recomenda-se o nível de 60% de MS quando o tempo de permanência da massa ensilada no silo

for inferior ou igual a 120 dias. Em tempos de abertura igual ou superior a 120 dias, recomenda-se o nível de matéria seca de 70%.

REFERENCIAS

Agricultural and Food Research Council – AFRC (1993). *Energy and protein requirements of ruminants: an advisory manual prepared by AFRC Technical Committee on responses to nutrients*. Wallingford, UK: Commonwealth Agricultural Bureau International, p.159.

AOAC. (2005). *Official methods of analysis of the Association Analytical Chemists*. 18th.ed. Gaithersburg.

Arcari, M. A., Martins, C. M. D. M. R., Tomazi, T., & dos Santos, M. V. (2016). Effect of the ensiling time of hydrated ground corn on silage composition and in situ starch degradability. *Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science*, 53(1), 60-71.

Ávila, C. L. S., Carvalho, B. F., Pinto, J. C., Duarte, W. F., & Schwan, R. F. (2014). The use of Lactobacillus species as starter cultures for enhancing the quality of sugar cane silage. *Journal of Dairy Science*, 97(2), 940-951.

Ávila, N. R. B. D., Silva, N. C. D., Leite, R. F., Barbosa, L. D. Á., Florentino, L. A., & Rezende, A. V. D. (2019). Caracterização da silagem de grão de milho reidratado associado ao resíduo de tilápia. *Ciência Animal Brasileira*, 20.

Beuchat, L. R. (1981). *Microbial stability as affected by water activity*. Cereal Foods World, 26(7), 345-349.

Bolsen, K. K., Lin, C., Brent, B. E., Feyerherm, A. M., Urban, J. E., & Aimutis, W. R. (1992). Effect of silage additives on the microbial succession and fermentation process of alfalfa and corn silages. *Journal of Dairy Science*, 75(11), 3066-3083.

Brito, G. S. M. S., Santos, E. M., de Araújo, G. G. L., de Oliveira, J. S., de Moura Zanine, A., Perazzo, A. F., ... & Cavalcanti, H. S. (2020). Mixed silages of cactus pear and gliricidia:

chemical composition, fermentation characteristics, microbial population and aerobic stability. *Scientific Reports*, 10(1), 1-13.

Carvalho, B. F., Ávila, C. L. S., Bernardes, T. F., Pereira, M. N., Santos, C., & Schwan, R. F. (2017). Fermentation profile and identification of lactic acid bacteria and yeasts of rehydrated corn kernel silage. *Journal of applied microbiology*, 122(3), 589-600.

Corsato, C. E., Scarpate Filho, J. A., & Sales, E. C. J. D. (2008). Teores de carboidratos em órgãos lenhosos do caquizeiro em clima tropical. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 30(2), 414-418.

Da Silva, M. R. H., Jobim, C. C., Neumann, M., & Osmari, M. P. (2018). Corn grain processing improves chemical composition and fermentative profile of rehydrated silage. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 40, 42564-42564.

Da Silva, N. C., Nascimento, C. F., Campos, V. M., Alves, M. A., Resende, F. D., Daniel, J. L., & Siqueira, G. R. (2019). Influence of storage length and inoculation with *Lactobacillus buchneri* on the fermentation, aerobic stability, and ruminal degradability of high-moisture corn and rehydrated corn grain silage. *Animal Feed Science and Technology*, 251, 124-133.

Da Silva, N. C., Nascimento, C. F., Nascimento, F. A., de Resende, F. D., Daniel, J. L. P., & Siqueira, G. R. (2018). Fermentation and aerobic stability of rehydrated corn grain silage treated with different doses of *Lactobacillus buchneri* or a combination of *Lactobacillus plantarum* and *Pediococcus acidilactici*. *Journal of dairy science*, 101(5), 4158-4167.

Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. T., & Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical chemistry*, 28(3), 350-356.

Ferreira, D. F. (2008). SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. *Revista symposium*, 6(2), 36-41.

Gobetti, S. T. C., Neumann, M., Oliboni, R., & Oliveira, M. R. (2013). Use of humid grains silage in the diet of ruminants. *Ambiência*, 9(1), 225-239.

Gusha, J., Katsande, S., Zvinorova, P. I., & Ncube, S. (2013). The nutritional composition and acceptability of cacti (*Opuntia ficus indica*)-legume mixed silage. *Online Journal of Animal and Feed Research*, 3(2), 116-120.

Hoffman, P. C., Esser, N. M., Shaver, R. D., Coblenz, W. K., Scott, M. P., Bodnar, A. L., ... & Charley, R. C. (2011). Influence of ensiling time and inoculation on alteration of the starch-protein matrix in high-moisture corn. *Journal of dairy science*, 94(5), 2465-2474.

Jobim, C. C., Nussio, L. G., Reis, R. A., & Schmidt, P. (2007). Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36, 101-119.

Kung Jr, L., Robinson, J. R., Ranjit, N. K., Chen, J. H., Golt, C. M., & Pesek, J. D. (2000). Microbial populations, fermentation end-products, and aerobic stability of corn silage treated with ammonia or a propionic acid-based preservative. *Journal of dairy science*, 83(7), 1479-1486.

Kung Jr, L., Shaver, R. D., Grant, R. J., & Schmidt, R. J. (2018). Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. *Journal of dairy Science*, 101(5), 4020-4033.

Macêdo, A. J. D. S., Santos, E. M., Araújo, G. G. L. D., Edvan, R. L., Oliveira, J. S. D., Perazzo, A. F., ... & Pereira, D. M. (2018). Silages in the form of diet based on spineless cactus and buffelgrass. *African Journal of Range & Forage Science*, 35(2), 121-129.

Mertens, D. R. (2002). Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beakers or crucibles: collaborative study. *Journal of AOAC international*, 85(6), 1217-1240.

Muck, R. E., Nadeau, E. M. G., McAllister, T. A., Contreras-Govea, F. E., Santos, M. C., & Kung Jr, L. (2018). Silage review: Recent advances and future uses of silage additives. *Journal of dairy science*, 101(5), 3980-4000.

Nocek, J. E. (1988). In situ and other methods to estimate ruminal protein and energy digestibility: a review. *Journal of Dairy Science*, 71(8), 2051-2069.

Nogueira, M. D. S., Araújo, G. G. L., Santos, E. M., Gonzaga Neto, S., Oliveira, J. S., Perazzo, A. F., ... & Pereira, D. M. (2019). Feed alternatives with cactus forage silage for animal nutrition. *International Journal of Agriculture and Biology*, 22(6), 1393-1398.

Oliveira, E. R., Takiya, C. S., Del Valle, T. A., Rennó, F. P., Goes, R. H. T., Leite, R. S., ... & Da Silva, M. S. J. (2019). Effects of exogenous amyolytic enzymes on fermentation, nutritive value, and in vivo digestibility of rehydrated corn silage. *Animal Feed Science and Technology*, 251, 86-95.

Ørskov, E. R., & McDonald, I. (1979). The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *The Journal of Agricultural Science*, 92(2), 499-503.

Pereira, G. A., Santos, E. M., Araújo, G. G. L., Oliveira, J. S., Pinho, R. M. A., Zanine, A. D. M., ... & Nascimento, T. V. C. (2019). 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*, 157(9-10), 684-692.

Rezende, A. V., Rabelo, C. H., Veiga, R. M., Andrade, L. P., Härter, C. J., Rabelo, F. H., ... & Reis, R. A. (2014). Rehydration of corn grain with acid whey improves the silage quality. *Animal Feed Science and Technology*, 197, 213-221.

Sá, W. C. C. S., Santos, E. M., de Oliveira, J. S., de Araujo, G. G. L., Perazzo, A. F., da Silva, A. L., ... & Leite, G. M. Fermentative characteristics and chemical composition of cochineal nopal cactus silage containing chemical and microbial additives. *The Journal of Agricultural Science*, 1-9.

Sampaio, I. B. M. (1997). *Métodos estatísticos aplicados à determinação de digestibilidade in situ*. In: TEIXEIRA, J. C. Digestibilidade em ruminantes. Lavras: UFLA, p.165-178.

Santos, A. P. M. D., Santos, E. M., Oliveira, J. S. D., Ribeiro, O. L., Perazzo, A. F., Martins Araújo Pinho, R., ... & Pereira, G. A. (2018). Effects of urea addition on the fermentation of sorghum (*Sorghum bicolor*) silage. *African Journal of Range & Forage Science*, 35(1), 55-62.

Santos, E. M., Pereira, O. G., Garcia, R., Ferreira, C. L. L. F., Oliveira, J. S., & Silva, T. C. (2014). Effect of regrowth interval and a microbial inoculant on the fermentation profile and dry matter recovery of guinea grass silages. *Journal of Dairy Science*, 97(7), 4423-4432.

Santos, F. N. S., Santos, E. M., Oliveira, J. S., Medeiros, G. R., Zanine, A. M., Araújo, G. G. L., ... & Paulino, R. S. (2020). Fermentation profile, microbial populations, taxonomic diversity and aerobic stability of total mixed ration silages based on Cactus and *Gliricidia*. *The Journal of Agricultural Science*, 1-10.

Siegfried, R., Ruckemann, H., & Stumpf, G. (1984). Method for the determination of organic-acids in silage by high-performance liquid-chromatography. *Landwirtschaftliche Forschung*, 37(3-4), 298-304.

Silva, V. P., Pereira, O. G., Leandro, E. S., Da Silva, T. C., Ribeiro, K. G., Mantovani, H. C., & Santos, S. A. (2016). Effects of lactic acid bacteria with bacteriocinogenic potential on the fermentation profile and chemical composition of alfalfa silage in tropical conditions. *Journal of dairy science*, 99(3), 1895-1902.

Sniffen, C. J., O'connor, J. D., Van Soest, P. J., Fox, D. G., & Russell, J. B. (1992). A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. *Journal of animal science*, 70(11), 3562-3577.

Tabacco, E., Piano, S., Cavallarin, L., Bernardes, T. F., & Borreani, G. (2009). Clostridia spore formation during aerobic deterioration of maize and sorghum silages as influenced by *Lactobacillus buchneri* and *Lactobacillus plantarum* inoculants. *Journal of applied microbiology*, 107(5), 1632-1641.

Tabacco, E., Piano, S., Revello-Chion, A., & Borreani, G. (2011). Effect of *Lactobacillus buchneri* LN4637 and *Lactobacillus buchneri* LN40177 on the aerobic stability, fermentation

products, and microbial populations of corn silage under farm conditions. *Journal of dairy science*, 94(11), 5589-5598.

Wang, H., Hao, W., Ning, T., Zheng, M., & Xu, C. (2018). Characterization of culturable yeast species associating with whole crop corn and total mixed ration silage. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 31(2), 198.

Zanine, A. D. M., Santos, E. M., Dórea, J. R. R., Dantas, P. A. D. S., Silva, T. C. D., & Pereira, O. G. (2010). Evaluation of elephant grass silage with the addition of cassava scrapings. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39(12), 2611-2616.

CAPÍTULO III

Silagem de ração total à base de palma forrageira e torta de algodão na alimentação de ovinos terminados em confinamento

RESUMO

O objetivo do presente estudo foi avaliar as características fermentativas da silagem na forma de ração à base de palma forrageira e torta de algodão e seu efeito sobre o desempenho produtivo e comportamento ingestivo dos ovinos em confinamento. O estudo foi dividido em dois ensaios experimentais, ambos distribuídos em delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC). O primeiro ensaio experimental avaliou a qualidade fermentativa das silagens na forma de ração (SFR), com cinco repetições por tratamento e o segundo avaliou o desempenho produtivo e comportamento ingestivo dos ovinos, com oito repetições por tratamento, sendo os tratamentos representados pelas proporções de torta de algodão na SFR (0; 20; 25 e 30% de torta de algodão na matéria seca). Observou-se diferença significativa ($P < 0,05$) entre as rações para população de leveduras, pH, perda por gases (PG), perda por efluente (PE), recuperação de matéria seca (RMS), consumo de extrato etéreo (CEE), digestibilidade da matéria seca (DMS), matéria orgânica (DMO), proteína bruta (DPB), extrato etéreo (DEE), fibra em detergente neutro (DFDN), carboidrato não fibroso (DCNF), nutrientes digestíveis totais (NDT) e para todas as variáveis de comportamento ingestivo, exceto para as de alimentação. Assim, palma forrageira assegura a qualidade fermentativa e higiênica das silagens na forma de ração, independentemente dos teores de torta de algodão, bem como os ovinos da raça Dorper terminados em confinamento podem consumir silagens na forma ração tendo a palma forrageira como única fonte de forragem, sem comprometer seu desempenho produtivo.

Palavras-chave: consumo; desempenho; digestibilidade; dorper; perfil fermentativo

ABSTRACT

The present study aimed to evaluate the fermentative characteristics of silage total mixed ration based on forage cactus and cotton cake and its effect on the productive performance and ingestive behavior of sheep in confinement. The study was divided into two experimental trials, both distributed in a completely randomized experimental design. The first experimental trial evaluated the fermentative quality of silages total mixed ration (TMR), with five repetitions per treatment, and the second evaluated the productive performance and ingestive behavior of the sheep, with eight repetitions per treatment, with the treatments represented by the pie proportions of cotton cake in the TMR (0; 20; 25 and 30% cotton cake, based on dry matter). There was a significant difference ($P < 0.05$) between the TMR for yeast population, pH, gas losses (GL), effluent losses (EL), dry matter recovery (DMR), ether extract intake (EEI), dry matter digestibility (DMD), organic matter (OMD), crude protein (CPD), ether extract (EED), neutral detergent fiber (NDFD), non-fibrous carbohydrate (NFCD), total digestible nutrients (TDN) and for all ingestive behavior variables, except for feeding. Thus, forage cactus ensures the fermentative and hygienic quality of the silages in the form of feed, regardless of the proportions of cotton cake. Therefore, based on the productive performance and ingestive behavior of Dorper sheep feedlot, it is recommended silage as feed with 30% cotton cake.

Keywords: digestibility; dorper; intake; fermentation profile; performance

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas intensivos de produção de pequenos ruminantes de corte em regiões Semiáridas e Áridas sofrem influência direta das condições climáticas da região, devido a dependência da espécie ruminante a uma fonte de fibra na dieta. Assim, durante o período de estiagem a produção de volumoso em quantidade e qualidade é comprometida, o que resulta no baixo desempenho animal. Dessa maneira, a técnica de confinamento associada a técnica de conservação de forragem na forma de silagem, possibilita aos animais uma alimentação balanceada e de alto valor nutricional durante o período de estiagem. Contudo, em períodos de estiagem prolongados a produção de forragem complementar destinada a produção de silagem fica comprometida, dificultando a produção de silagens em quantidade e qualidade para atender as necessidades dos animais no confinamento.

Desse modo, a palma forrageira é uma opção promissora para ser utilizada como principal doente de forragem durante a terminação de pequenos ruminantes em regiões Semiáridas e Áridas, visto que esta se adapta às condições edafoclimáticas da região. Ademais, a palma forrageira vem sendo utilizada como fonte de água e energética da dieta dos animais, devido possuir 90% de água e 650 a 750 g/kg⁻¹ de nutrientes digestíveis totais em sua composição (Macêdo et al., 2018; Cavalcante et al., 2014; Ramos et al., 2013). Entretanto, em consequência dos seus baixos teores de proteína bruta (50 g/kg⁻¹ de PB) e fibra em detergente neutro (232 a 277 g/kg⁻¹ na matéria seca), seu uso isoladamente não é recomendado, por não atender as necessidades nutricionais dos animais, além dos animais apresentarem fezes amolecidas e baixa motilidade ruminal (Lins et al., 2016; Siqueira et al., 2017).

Considerando tais características, quando a palma forrageira é utilizada como única fonte de forragem na alimentação de ruminantes, o resultado pode ser fezes amolecidas, baixa motilidade ruminal e perda de peso (Da Silva et al., 2021). Além do mais, o custo de utilização do palmal torna-se elevado em virtude dos gastos diários com mão-de-obra para o corte, deslocamento e trituração diária para seu fornecimento, onerando os custos do confinamento. Portanto, recomenda-se que a palma forrageira seja fornecida em conjunto com uma fonte de fibra para prevenir esses problemas digestivos, e que busca-se alternativas tecnológicas para otimizar o uso do palmal e reduzir os custos do confinamento.

Dessa maneira, a ensilagem de rações possibilita o aproveitamento de forrageiras e resíduos agroindustriais com elevado teor de umidade, possibilitando a produção de silagens de ração total (SRT) à base de palma forrageira. Além de aumentar a disponibilidade do amido e

a digestibilidade da fração fibrosa da dieta, diminui a seleção dos ingredientes pelos animais, otimizando o desempenho produtivo dos animais (Macêdo et al., 2018; Santos et al., 2020).

Outros pontos que valem ressaltar é a redução nos custos com mão de obra e, conseqüentemente, com a alimentação dos animais e possibilidade de comercialização de silagens com alto valor agregado, uma vez que o comércio de silagem é uma realidade em várias regiões Áridas e Semiáridas, possibilitando uma fonte de renda extra associada à produção animal (Macêdo et al., 2018).

Entretanto, ao confeccionar-se SRT à base de palma forrageira deve-se utilizar uma fonte de fibra, seja ela advinda de forragem ou não, em virtude da baixa concentração de fibra presente na palma. Sendo assim, muitos produtores utilizam diversas fontes de volumoso visando corrigir o déficit de fibra da palma, porém, durante período de estiagens prolongados essa fonte de volumoso torna-se escassa, o que possibilita a utilização de coprodutos da agroindústria como fonte de fibra da dieta.

A torta de algodão, apesar de ser um concentrado proteico, com 30% de PB, tem elevado teor de FDN (47% de FDN), o que permite a substituição de alimentos volumosos e proteicos convencionais, como: fenos, forrageiras e o farelo de soja na SRT, além de ser de fácil acesso aos produtores como também de baixo custo-benefício, quando comparado aos fenos e silagens convencionais durante o período de seco do ano.

Assim, a utilização de SRT à base de palma forrageira e torta de algodão torna-se uma alternativa promissora no confinamento de pequenos ruminantes em regiões Semiáridas e Áridas, visto que minimiza os custos com mão-de-obra, além de possibilitar a terminação de animais usando a palma forrageira como única fonte de forragem na dieta. Ademais, tornar-se uma fonte de renda extra para o pequeno produtor que poderá comercializar a silagem ou seu excedente. Assim, o objetivo do presente estudo foi avaliar as características fermentativas da silagem na forma de ração à base de palma forrageira e torta de algodão e seu efeito sobre o desempenho produtivo e comportamento ingestivo dos ovinos em confinamento.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Local e material utilizado

A torta de algodão, bem como, os outros ingredientes concentrados (farelo de milho e farelo de soja) utilizados nas formulações das dietas foram adquiridas no comércio local. O feno de capim-buffel e a palma forrageira (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck) utilizada, foram

doados pela Estação Experimental Benjamim Maranhão, pertencente a Empresa Paraibana de Pesquisa, Extensão Rural e Regularização Fundiária (EMPAER-PB).

A confecção das silagens de ração total (SRT) e o confinamento dos ovinos ocorreu nas instalações da estação experimental Benjamim Maranhão, pertencente a EMPAER-PB, situada no município de Tacima – PB, localizada a latitude: 6° 29' 8" Sul e longitude: 35° 37' 51" Oeste, situada na mesorregião do Agreste Paraibano e microrregião de Curimataú Oriental, distando 153 km da capital João Pessoa – PB. O feno de capim buffel e a palma forrageira foram previamente processados em máquina forrageira estacionária (MC1001N Laboremus®). A máquina forrageira foi ajustada para que o tamanho da partícula fosse de, aproximadamente, 1 cm para o feno e 2 cm para a palma forrageira.

Experimento 1

Delineamento experimental utilizado

Foram utilizados 16 silos experimentais em delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), com quadro tratamentos e quatro repetições cada, sendo os tratamentos caracterizados pelas proporções de torta de algodão na silagem na forma de ração (0; 20; 25 e 30% de torta de algodão, com base na MS).

Confecção das silagens

As SRT foram confeccionadas em 16 silos experimentais de policloreto de polivinila (PVC), com 10 cm de diâmetro × 30 cm de altura. A palma forrageira e a torta de algodão foi misturada aos demais ingredientes com o auxílio de um misturador até que as misturas se tornassem homogêneas. Após a mistura, o material foi imediatamente compactado com soquetes de madeira para atingir uma densidade específica de aproximadamente 600 kg/m³ de matéria natural em cada silo experimental.

Todos os silos experimentais foram adaptados com válvula tipo *Bunsen* para eliminação dos gases resultantes da fermentação. No fundo de cada silo experimental foi adicionado 1 kg de areia seca, cuja camada foi coberta com tela de tecido não tecido (TNT) para captação dos efluentes. Ao final deste processo, os silos experimentais foram fechados, pesados e armazenados à temperatura ambiente em local coberto, seco e arejado até os momentos da abertura (60 dias após a ensilagem).

Qualidade fermentativa das silagens na forma de ração

As populações microbianas foram quantificadas, antes da ensilagem e no momento da abertura dos silos experimentais, utilizando-se meios de cultura seletivos para cada grupo microbiano: ágar MRS (de Man, Rogosa e Sharpe), contendo 1,5 ml/L de ácido acético para as bactérias do ácido láctico (BAL) e ágar Batata Dextrose, contendo 1% de ácido tartárico a 10%, para os mofo e leveduras.

A quantificação dos grupos microbianos foi realizada a partir de 10 g de uma amostra das repetições de cada tratamento, nas quais foram adicionados 90 mL de solução tampão fosfato esterilizada e homogeneizadas durante 1 minuto, obtendo-se a diluição de 10^{-1} . Em seguida, diluições sucessivas foram realizadas, objetivando-se obter diluições variando de 10^{-1} a 10^{-9} , e o cultivo foi realizado em placas de Petri estéreis descartáveis (González & Rodríguez, 2003).

As placas de Petri foram incubadas de acordo com as temperaturas de incubação específicas para cada grupo microbiano (Ávila et al. 2014; Santos et al. 2014). Para BAL, 37°C durante 48 horas e para mofo e leveduras, 28°C durante 72 horas. Foram consideradas passíveis de contagem as placas com valores entre 30 e 300 unidades formadoras de colônias (UFC/g de silagem).

No momento da abertura foi determinado o valor de pH e nitrogênio amoniacal ($N-NH_3$) seguindo a metodologia descrita por Bolsen et al. (1992), bem como, os teores de carboidratos solúveis em água (CSA) seguindo o método do ácido sulfúrico concentrado descrito por Dubois et al. (1956) com adaptações de Corsato et al. (2008).

Logo após a abertura (60 dias de ensilagem) dos silos experimentais, foi avaliada a estabilidade aeróbia (EA) das silagens (expressa em horas) por meio do monitoramento da temperatura interna das silagens expostas ao ar durante um período de 120 horas. As amostras de silagem foram colocadas sem compactação em silos experimentais de PVC sem tampa e mantidas em ambiente fechado com temperatura controlada (25°C).

As temperaturas foram verificadas a cada 30 minutos por meio de termômetros digitais de imersão, posicionados no centro da massa de silagem. Foi considerado o início da deterioração quando a temperatura interna das silagens atingiu 2°C acima da temperatura ambiente (Kung Jr et al., 2000).

Perdas e recuperação de matéria seca da silagem

As perdas de matéria seca nas silagens sob as formas de efluentes e gases foram quantificadas por diferença de peso pelas equações descritas por Zanine et al. (2010):

$$PE = [(PV_f - T_b) - (PV_i - T_b)] / MFi \times 100$$

Onde, PE = perdas por efluentes (kg ton^{-1} de matéria fresca); PVi = peso do silo vazio + areia no fechamento (kg); PVf = peso do silo vazio + areia na abertura (kg); Tb = peso do silo vazio (kg); MFi = massa de forragem no fechamento do silo (kg).

$$PG = (PCf - PCa) / (MFf \times MSf) \times 10000$$

Onde, PG = perdas por gases (% da matéria seca); PCf = peso do silo cheio no fechamento (kg); PCa = peso do silo cheio na abertura (kg); MFf = massa de forragem no fechamento do silo (kg); MSf = concentração de matéria seca da forragem no fechamento do silo (%).

A estimativa da recuperação de matéria seca (RMS) foi obtida por diferença de peso de matéria seca antes e após a ensilagem pela equação descrita por Zanine et al. (2010):

$$RMS = (MFa \times MSa) / (MFf \times MSf) \times 100$$

Onde, RMS = taxa de recuperação de matéria seca (%); MFa = massa da forragem na abertura do silo (kg); MSa = concentração de matéria seca da forragem na abertura do silo (%); MFf = massa da forragem no fechamento do silo (kg); MSf = concentração de matéria seca da forragem no fechamento do silo (%).

Experimento 2

Delineamento experimental

Foram utilizados 32 cordeiros da raça Dorper, não castrados com peso vivo médio inicial de, aproximadamente, $17 \pm 1,5$ kg, distribuídos em delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), com quatro tratamentos e oito repetições. Os tratamentos experimentais consistiram na inclusão da torta de algodão na silagem de mistura completa (0; 20; 25 e 30%) com base na matéria seca (MS), no intuito de substituir a fonte de fibra fisicamente efetiva do feno de capim-buffel e substituir o farelo de soja como fonte proteica da SRT.

Confecção da silagem para o confinamento

Foram confeccionadas 2.000 kg de SRT para cada tratamento, totalizando 8.000 kg de SRT. A palma forrageira e a torta de algodão foram misturadas aos demais ingredientes com o auxílio de um misturador até que as misturas se tornassem homogêneas. Após a mistura, o

material foi imediatamente ensacado em sacos de polietileno de 200 micras, com 110 cm de comprimento x 51 cm de largura e capacidade de armazenamento de 40 kg de SRT, com densidade específica de aproximadamente 600 kg/m³ de matéria natural em cada saco. Ao final deste processo, os sacos de silagem foram fechados e armazenados à temperatura ambiente em local coberto, seco e arejado até os momentos da abertura (60 dias após a ensilagem).

Desempenho produtivo dos ovinos

O período experimental teve duração de 50 dias, sendo 10 dias de adaptação e 40 dias para coleta de amostras e dados. O período experimental com os animais recebendo suas respectivas silagens na forma de ração iniciou-se após os animais passarem por jejum de 16 horas para a pesagem inicial. As dietas ensiladas foram calculadas para serem isoproteicas e para suprir as exigências de ganho médio diário de 200 g/dia, de acordo com o NRC (2007) (Tabela 1).

Tabela 1. Composição química dos ingredientes das silagens na forma de ração, em g/kg de matéria seca.

Variáveis	Ingredientes					
	Palma forrageira	Feno de Capim Buffel	Farelo de Soja	Farelo de Milho	Torta de Algodão	Ureia
Matéria Seca	169,00	822,07	823,76	816,03	859,81	990,00
Proteína Bruta	32,44	34,76	478,38	96,24	305,33	281,00
Extrato Etéreo	33,00	8,30	14,36	41,25	96,89	-
Fibra em detergente neutro	297,18	835,10	139,98	141,80	524,82	-
Fibra em detergente ácido	132,20	433,80	71,2	23,90	162,90	-

Tabela 2. Proporções dos ingredientes e composição química das silagens na forma de ração, com base na matéria seca.

Itens	Proporções dos ingredientes na ensilagem (g/kg)			
	Proporções de torta de algodão			
	0%	20%	25%	30%

Palma forrageira	342,21	339,21	338,29	338,29
Feno buffel	232,70	67,84	-	-
Farelo de Soja	161,52	69,20	20,30	-
Farelo de Milho	229,96	302,58	358,59	338,29
Torta de algodão	-	195,39	257,10	297,70
Ureia	6,84	-	-	-
Núcleo mineral	16,43	16,28	16,24	16,24
Cloreto de amônio	9,58	9,50	9,47	9,47
Sulfato de amônio	0,76	-	-	-
Variáveis	Composição química das SRT (g/kg)			
Matéria Seca	315,81	314,96	320,56	306,83
Matéria Orgânica	998,87	998,88	998,90	998,82
Cinzas	1,13	1,12	1,10	1,18
Proteína Bruta	152,81	150,08	148,50	149,23
Extrato Etéreo	22,84	32,25	42,57	37,53
Fibra em detergente neutro	326,76	271,31	236,40	242,36
Fibra em detergente ácido	166,92	136,64	118,57	129,05
Carboidratos não fibrosos	502,17	573,56	569,62	586,85

O fornecimento da silagem na forma de ração foi realizado em duas porções diárias iguais às 08:00 e 16:00 horas, em quantidade que representasse 3,5% do peso vivo (PV). A quantidade fornecida foi ajustada diariamente em função do consumo do dia anterior, permitindo sobras de 10%. Foi efetuada a pesagem diária das sobras, duas vezes ao dia, no início da manhã e outra antes da oferta do período da tarde. O consumo de matéria seca (CMS), matéria orgânica (CMO), proteína bruta (CPB), extrato etéreo (CEE), fibra em detergente neutro (CFDN), carboidratos não fibrosos (CCNF) e dos nutrientes digestíveis totais (CNDT) pelos ovinos foi calculado a partir da diferença da quantidade ingerida de SRT e sobras, ambas com base na MS.

Para determinar os coeficientes de digestibilidade da matéria seca (MS) e dos demais nutrientes, foram realizadas coletas de fezes tipo spot diretamente da ampola retal dos animais, durante cinco dias consecutivos (28º, 29º, 30º, 31º e 32º dia), duas vezes ao dia. As amostras de fezes foram homogeneizadas para obter uma amostra compostas por animal, identificadas e, posteriormente, armazenadas a -10°C. Em seguida, foram pré-secas em estufa de ventilação forçada a 55°C durante 72 horas e moídas (utilizando moinho de facas, tipo Willey, e peneira

com crivo de 1 mm para as silagens na forma de ração e sobras e de 2 mm para fezes) para posteriores análises bromatológica e incubação no período de 288 horas em bovinos fistulados, conforme a metodologia descrita por Nocek et al. (1988) adaptada por Casali et al. (2008).

Após o período de incubação de 288 horas no rúmen de bovinos fistulados, as amostras foram retiradas do rúmen, lavadas até que a água se tornasse incolor e, posteriormente, submetidas à secagem em estufa com ventilação forçada a 55°C por 72h para eventual determinação da FDNi, o qual foi obtido através de diferença de peso, antes e após a incubação, como proposto por Silva e Queiroz (2002).

A digestibilidade aparente (DA) da matéria seca (DMS), matéria orgânica (DMO), proteína bruta (DPB), extrato etéreo (DEE), fibra em detergente neutro (DFDN), carboidratos não fibrosos (DCNF) das silagens na forma de ração foram obtidas a partir do indicador interno escolhido, no caso da presente pesquisa, o FDNi, sendo este utilizado na seguinte equação:

$$DA = 100 - \left(100 \times \frac{\% \text{ do Indicador no alimento}}{\% \text{ do Indicador nas Fezes}} \times \frac{\% \text{ do Nutriente no Alimento}}{\% \text{ do Nutriente nas Fezes}} \right)$$

Os animais foram pesados no início do período experimental e no final do experimento, ambos após jejum de 16 horas. Para acompanhamento do ganho de peso durante todo o período experimental, os animais foram pesados a cada 15 dias. O ganho de peso (GP) foi obtido através da fórmula $GP = PV_{\text{final}} - PV_{\text{inicial}}$, o ganho médio diário (GPD) foi obtido pela fórmula $GMD = GP / n^{\circ} \text{ de dias do confinamento}$ e a eficiência alimentar (EA) pela relação entre o ganho de peso (GP) e consumo de matéria seca (MS), pela fórmula $EA = GP/QMSC$, em que: GP = ganho de peso e QMSC = quantidade total de MS consumida.

Análises laboratoriais

Foram analisadas a composição química das sobras, das dietas, dos ingredientes da dieta, e das fezes para determinação da matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), matéria mineral (MM), extrato etéreo (EE), fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA), conforme metodologia descrita por AOAC (2000), proteína pelo método de Kjeldahl.

Os teores de lignina dos tratamentos experimentais foram obtidos a partir do resíduo da FDA tratado com ácido sulfúrico a 72%, de acordo com a metodologia descrita por Silva e Queiroz (2002).

O teor de carboidratos não fibrosos (CNF) foi calculado conforme Hall (2000), onde: $CNF = 100 - [(\%PB - \%PB_{\text{derivado da ureia}} + \% \text{ da ureia}) + \%FDN_{cp} + \%EE + \%MM]$. O

teor de NDT foi calculado utilizando a seguinte equação: $NDT = PBd + CNFd + FDNcpd + (EEd \times 2,25)$; sendo PBd, CNFd, FDNcpd e EEd correspondentes a: proteína bruta digestível, carboidratos não fibrosos digestíveis, fibra em detergente neutro corrigida para cinza e proteína digestível e extrato etéreo digestível, respectivamente, sendo o extrato etéreo multiplicado por 2,25 devido esta fração conter, aproximadamente, o dobro de energia do que as demais (Weiss, 1999).

Comportamento ingestivo

Ao 24º dia do período experimental foi analisado o comportamento ingestivo dos animais, sendo registrado o tempo gasto em alimentação, ruminação e ócio, a cada cinco minutos, durante 24 horas. As anotações foram realizadas por observadores treinados, posicionados de maneira a não causar alterações na rotina dos animais. Além disso, foi realizada a contagem do número de mastigações merícicas (nº/bolo) e do tempo despendido na ruminação de cada bolo (seg/bolo) com o auxílio de cronômetros digitais.

Para obtenção das médias das mastigações e do tempo, foram feitas as observações de três bolos ruminais em três períodos diferentes do dia (manhã, tarde e noite). Foram computados o tempo e o número de mastigações para cada bolo ruminal por animal. As variáveis gramas (g) de matéria seca (MS) e de fibra em detergente neutro (FDN)/ bolo foram obtidas dividindo-se o consumo médio de cada fração individualmente pelo número de bolos ruminados por dia (em 24 horas). Para obtenção do número de bolos diários, foi realizada a divisão do tempo total de ruminação pelo tempo médio gasto para ruminar cada bolo, descrito anteriormente. O número de bolos ruminais por dia, o tempo de mastigação total e o número de mastigações merícicas por dia, também foram obtidas conforme metodologias descritas por Bürger et al. (2000) e Polli et al. (1996).

Análise estatística

Os resultados obtidos das silagens de ração total, desempenho produtivo e comportamento ingestivo dos animais foram avaliados por meio de análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey adotando-se 0,05 como nível crítico de probabilidade para o erro tipo I. Os procedimentos foram conduzidos por intermédio do programa estatístico SAS 9.4 (SAS Institute, Cary, NC, USA).

3 RESULTADOS

Qualidade fermentativa das silagens na forma de ração

Não houve efeito ($P = 0,8301$ e $P = 0,3639$) das SRT nas contagens de BAL e mofo, apresentando médias de 6,96 e $<2,0 \log_{10}$ UFC/g de silagem, respectivamente (Tabela 3). Contudo, houve diferença significativa ($P = 0,0107$) para a população de leveduras na SRT, com as maiores populações sendo observadas nas silagens com 0 e 20% de torta de algodão, não diferindo entre si, no entanto, não foi detectado leveduras nas SRT com 25 e 30% de torta de algodão.

Com relação ao perfil fermentativo das silagens, constatou-se diferença significativa ($P = 0,0014$) para os valores de pH das SRT, com os maiores valores sendo observados nas SRT com 0, 25 e 30% de torta de algodão, não diferindo entre si, e o menor na SRT com 20% de torta de algodão (Tabela 3). Entretanto, não houve efeito ($P = 0,3978$; $P = 0,4872$ e $P = 3993$) para as variáveis de CSAr, N-NH₃ e tempo de EA, apresentando médias de 21,52 g/kg, 0,03% NT e 113,37 horas, respectivamente (Tabela 3).

Tabela 3. População microbiana, perfil fermentativo e o tempo de estabilidade aeróbia das silagens na forma de ração.

Variável	¹ Proporções de torta de algodão				Médias	² EPM	P valor
	0%	20%	25%	30%			
Contagem microbiana (\log_{10} UFC/g de silagem)							
Bactérias do ácido láctico	6,87	6,90	7,17	6,74	6,92	0,33	0,8301
Mofos	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	1,05	0,3639
Leveduras	4,40a	4,35ab	<2,00b	<2,00b	2,18	1,04	0,0107
Perfil fermentativo da silagem de ração total							
pH	5,37a	4,80b	5,27a	5,15a	5,15	0,07	0,0014
CSAr, g/Kg	17,10	18,83	23,96	26,20	21,52	0,40	0,3978
N-NH ₃ , %NT	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,01	0,4872
Estabilidade Aeróbia (Horas)							
Tempo de EA	102,50	111,00	120,00	120,00	113,37	8,13	0,3993

¹Teores de torta de algodão com base na matéria seca das silagens.

²EPM = Erro Padrão da Média

CSAr = Carboidratos solúveis em água residuais; N-NH₃, %NT = Nitrogênio amoniacal com base no percentual de nitrogênio total.

Perdas e recuperação de matéria seca da silagem

Houve efeito ($P = 0,0000$; $P = 0,0073$ e $P = 0,0000$) dos tratamentos para as PG, PE e RMS durante o processo de ensilagem. Para PG as maiores médias foram observadas nas SRT com 0 e 30%, não diferindo entre si, e as menores foram nas SRT com 20 e 25% de torta de algodão, não diferindo entre si. Contudo, a maior PE foi observada na SRT com 30% e o menor na de 20% de torta de algodão. Concomitantemente, a maior RMS foi observado no tratamento com 20% e menores nos tratamentos com 0; 25 e 30%, com os tratamentos 0 e 30% de torta de algodão nas SRT, não diferindo entre si (Tabela 4).

Tabela 4. Perdas e recuperação de matéria seca das silagens na forma de ração.

Variável	¹ Proporções de torta de algodão				Médias	² EPM	P valor
	0%	20%	25%	30%			
PG, % de MS	10,62a	4,58b	6,16b	8,51a	7,47	0,50	0,0000
PE, Kg/t de MN	5,17ab	2,44b	4,25ab	6,92a	4,70	0,73	0,0073
RMS, g/Kg	898,67c	953,15a	936,87b	912,20c	925,22	0,37	0,0000

¹Teores de torta de algodão com base na matéria seca das silagens.

²EPM = Erro Padrão da Média

PG = Perdas por gases; PE = Perdas por efluente; RMS = Recuperação de matéria seca.

Desempenho produtivo dos ovinos

Não houve efeito ($P > 0,05$) dos tratamentos sobre as variáveis de CMS, CMS_{pc}, CMO, CPB, CFDN, CFDN_{pc}, CCNF e CNDT, com médias de 1034,68 g/dia, 36,72 g/kg, 998,55 g/dia, 166,87 g/dia, 343,13 g/dia, 12,25 g/kg, 504,89 g/dia e 974,02 g/dia, respectivamente. Contudo, houve efeito ($P = 0,0192$) para CEE, expresso em g/dia, observando-se a maior média na SRT com 0% e as menores nas SRT com 25 e 30% de torta de algodão, não diferindo entre si (Tabela 5).

Tabela 5. Valores médios de consumo de nutrientes das silagens na forma de ração.

Variável	¹ Proporções de torta de algodão				Médias	² EPM	P valor
	0%	20%	25%	30%			
CMS, g/dia	1131,25	1050,31	989,65	1052,84	1034,68	0,07	0,3863
CMS _{pc} , g/kg	36,42	42,06	36,22	32,17	36,72	3,05	0,1842
CMO, g/dia	1131,49	1050,05	957,33	998,55	998,55	72,85	0,3813
CPB, g/dia	180,87	168,38	156,68	161,55	166,87	11,49	0,4861
CEE, g/dia	28,60a	23,75ab	22,04b	21,14b	23,88	1,69	0,0192
CFDN, g/kg	371,99	354,9	322,54	323,08	343,13	25,22	0,4338

CFDN _{pc} g/kg	11,69	14,46	11,95	10,90	12,25	9,85	0,0944
CCNF, g/dia	557,55	509,81	462,32	489,9	504,89	36,46	0,3236
CNDT, g/dia	932,32	970,50	982,47	1010,79	974,02	77,46	0,9128

¹Teores de torta de algodão com base na matéria seca das silagens.

²EPM = Erro Padrão da Média

CMS = consumo de matéria seca, CMS_{pc} = consumo de matéria seca com base no peso corporal, CMO = consumo de matéria orgânica, CPB = consumo de proteína bruta, CFDN = consumo de fibra em detergente neutro, CFDN_{pc} = consumo de fibra em detergente neutro com base no peso corporal, CEE = consumo de extrato etéreo, CCNF = consumo de carboidrato não fibroso e CNDT = consumo de nutrientes digestíveis totais.

Em relação a digestibilidade aparente, houve diferença significativa ($P < 0,05$) entre as SRT para todas as variáveis de digestibilidade, com as maiores médias para DMS, DMO, DEE e DCNF sendo observadas nas SRT com 20, 25 e 30%, não diferindo entre si, e menor média na SRT com 0% de torta de algodão (Tabela 6). Contudo, as maiores médias para DPB e DFDN foram observadas nas SRT com 20 e 25%, não diferindo entre si, e a menor na SRT sem torta de algodão (Tabela 6).

Tabela 6. Valores médios da digestibilidade aparente dos nutrientes e nutrientes digestíveis totais das silagens na forma de ração.

Variável	¹ Proporções de torta de algodão				Médias	² EPM	P valor
	0%	20%	25%	30%			
DMS g/Kg	497,36b	679,61a	674,24a	623,51a	618,68	15,65	0,0000
DMO g/Kg	498,23b	680,17a	674,78a	624,03a	619,30	15,63	0,0000
DPB g/Kg	655,54b	737,76a	720,18a	685,44ab	699,73	14,36	0,0018
DEE g/Kg	698,68b	921,74a	925,96a	901,16a	861,89	14,37	0,0000
DFDN g/Kg	533,01b	694,07a	619,10ab	561,29ab	601,87	40,52	0,0434
DCNF g/Kg	730,91b	867,92a	852,82a	856,99a	827,16	18,12	0,0000

¹Teores de torta de algodão com base na matéria seca das silagens.

²EPM = Erro Padrão da Média

DMS = digestibilidade da matéria seca, DMO = digestibilidade da matéria orgânica, DPB = digestibilidade da proteína bruta, DFDN = digestibilidade da fibra em detergente, DEE = digestibilidade do extrato etéreo, DCNF = digestibilidade do carboidrato não fibroso e NDT = nutrientes digestíveis totais.

Não houve efeito ($P = 0,6124$; $P = 0,6220$ e $P = 0,5297$) dos tratamentos sobre o GP, GMD e EA dos ovinos, apresentando médias gerais de 7,87 Kg, 197,5 g/Kg e 188,8 g/Kg de MS, respectivamente (Tabela 7).

Tabela 7. Valores médios das variáveis de desempenho produtivo dos ovinos alimentados com as silagens na forma de ração.

Variável	¹ Teores de torta de algodão				Médias	² EPM	P valor
	0%	20%	25%	30%			
GP Kg	8,10	7,75	7,05	8,85	7,87	0,82	0,6124
GMD g/Kg	201,7	193,3	183,5	216,7	197,5	0,02	0,6220
EA g/Kg de MS	176,7	185,0	193,8	206,7	188,8	0,01	0,5297

¹Teores de torta de algodão com base na matéria seca das silagens.

²EPM = Erro Padrão da Média

GP = ganho de peso, GMD = ganho médio diário e EA = eficiência alimentar.

Comportamento ingestivo dos ovinos

Não houve efeito ($P = 0,5010$) dos tratamentos sobre o tempo despendido em alimentação, com média geral de 202,50 minutos/dia. Contudo, observou-se diferença significativa ($P = 0,0000$ e $P = 0,0003$) para os tempos despendidos em ruminação e ócio (Tabela 8). A maior média para tempo despendido em ruminação foi observada na SRT sem torta de algodão e as menores foram observados nas SRT com 20, 25 e 30% de torta de algodão, não diferindo entre si. O tempo despendido em ócio apresentou-se inversamente proporcional ao tempo despendido em ruminação, com as maiores médias sendo observadas nas SRT com 20, 25 e 30% e a menor na SRT sem de torta de algodão (Tabela 8).

Tabela 8. Tempo despendido em alimentação, ruminação e ócio (minutos), número de bolos por dia, número mastigações por bolos ruminados, tempo médio em mastigações por bolo ingerido (segundos) e número de mastigações por minuto e mastigação total por dia dos cordeiros alimentados com as silagens da forma de ração.

Variáveis	¹ Proporções de torta de algodão				Média	² EPM	P valor
	0%	20%	25%	30%			
Alimentação							
Mín. dia ⁻¹	222,50	205,00	181,25	201,25	202,50	18,85	0,5010
Ruminação							
Mín. dia ⁻¹	363,75a	251,25b	197,50b	236,25b	262,18	19,77	0,0000
Ócio							
Mín. dia ⁻¹	858,75b	988,75a	1007,50a	1066,25a	908,31	29,69	0,0003
Mastigação							
Bolos/dia	497,34a	451,24ab	316,91b	448,13ab	428,4	45,81	0,0539
Nº/bolo	58,80a	46,55b	46,43b	46,24b	49,5	2,811	0,0076

seg/bolo	44,93a	33,80b	38,42ab	33,51b	37,66	2,32	0,0052
Nº/minuto	45,29a	26,50b	29,89b	26,25b	31,98	3,6	0,0021
Total	65223,38a	38163,78b	43044,09b	37803,22b	46058,62	5185,49	0,0021

¹Teores de torta de algodão com base na matéria seca das silagens.

²EPM = Erro Padrão da Média

Observou-se efeito ($P = 0,0539$; $P = 0,0076$; $P = 0,0052$; $P = 0,0021$ e $P = 0,0021$) para todas as variáveis de mastigação, com o número de bolos por dia apresentando a maior média nas SRT com 0% e menor na SRT com 25% de torta de algodão (Tabela 8). O número de mastigações por bolo ruminados, por minuto e o total de mastigações por dia, apresentaram a maior média na SRT sem torta de algodão e menores nas SRT com 20, 25 e 30% de torta de algodão na silagem, não diferindo entre si. As maiores médias para tempo médio despendido em mastigações por bolo ingerido foi observado nas SRT com 0 e 30%, não diferindo entre si, e menor na SRT com 20% de torta de algodão (Tabela 8).

Em relação as variáveis de eficiência de alimentação e ruminação com base na MS e FDN, expressos em g/hora, não houve efeito ($P = 0,9252$ e $P = 0,8213$) para eficiência de alimentação com base na MS e FDN, com médias gerais de 326,47 e 108,49 g/hora, respectivamente. Contudo, observou-se diferença ($P = 0,0003$ e $P = 0,0009$) para a eficiência de ruminação da MS e FDN, com maiores médias observadas nas SRT com 20, 25 e 30% e menor na SRT com 0% de torta de algodão (Tabela 9).

Tabela 9. Eficiência de alimentação e ruminação (g MS e FDN/hora), número de períodos de alimentação, ruminação e ócio (Nº/dia) e tempo em minutos despendido por período de alimentação, ruminação e ócio dos cordeiros alimentados com as silagens na forma de ração.

Variáveis	Proporções de torta de algodão				Média	EPM	P valor
	0%	20%	25%	30%			
Eficiência de alimentação (g/ hora)							
MS	314,73	332,63	345,38	313,15	326,47	39,00	0,9252
FDN	103,64	112,59	116,86	100,88	108,49	13,55	0,8213
Eficiência de ruminação (g/ hora)							
MS ¹	184,86b	253,46a	302,52a	261,79a	250,66	16,67	0,0003
FDN ²	60,93b	85,48a	101,68a	85,17a	83,32	6,22	0,0009
Períodos (Nº/dia)							
Alimentação	25,75	24,25	23,50	26,50	25,00	2,17	0,7559

Ruminação	35,85a	31,87ab	25,75b	28,75ab	30,56	1,88	0,0052
Ócio	35,62a	31,85ab	25,70b	28,70ab	30,46	1,80	0,0064
Minutos/período							
Alimentação	8,68	8,46	7,66	7,66	8,12	0,36	0,1185
Ruminação	10,26a	7,89b	7,71b	8,12b	8,5	0,48	0,0028
Ócio	24,93c	31,59bc	42,80a	37,02ab	34,08	2,88	0,0012

¹Teores de torta de algodão com base na matéria seca das silagens.

²EPM = Erro Padrão da Média

Não houve efeito ($P = 0,7559$) para o número de período de alimentação, com média geral de 25,00 N°/dia. Entretanto, observou-se diferença ($P = 0,0052$ e $P = 0,0064$) para os números de períodos de ruminação e ócio, apresentando a maior média na SRT com 0% e menor na SRT com 25% de torta de algodão (Tabela 9).

Não houve efeito ($P = 0,1185$) para o tempo despendido por período de alimentação, com média geral de 8,12 minutos. Contudo, observou-se diferença ($P = 0,0028$ e $P = 0,0012$) em função proporções de torta de algodão na silagem na forma de ração para os tempos despendidos por período de ruminação e ócio (Tabela 9). Com relação ao tempo despendido por período de ruminação, a maior média na SRT sem torta de algodão e menores nas SRT com 20, 25 e 30% de torta de algodão, não diferindo entre si. As maiores médias para o tempo despendido por período de ócio foi observado na SRT 25% e menor SRT sem torta de algodão (Tabela 9).

4 DISCUSSÃO

Qualidade fermentativa das silagens na forma de ração

Os resultados observados para as características microbiológicas das SRT caracterizam-nas como silagens bem fermentadas, com as populações de BAL, mofos e leveduras do presente estudo (Tabela 3) assemelhando-se às encontradas por Chen et al. (2018), Gusmão et al. (2017) e Macêdo et al. (2018) ao avaliarem as características fermentativas e microbiológicas de SRT. A ausência de leveduras nas SRT com 25 e 30% de torta de algodão, pode estar associado aos efeitos deletérios do gossipol sobre as leveduras. Segundo Oliveira et. al., 2009; Souza et. al., 2011; Schmidt et al., (2014), o gossipol presente na torta de algodão é um composto polifenólico de cor amarela, que caracteriza-se por uma ou mais hidroxilas ligadas a um ou mais anéis aromáticos, esses compostos possuem efeitos antioxidante, antifúngica, entre outros.

Associado aos efeitos deletérios do gossipol, o efeito combinado da torta de algodão e dos outros alimentos concentrados, como aditivo absorvente de umidade, junto a mucilagem (substância gelatinosa altamente hidrofílica) presente nos cladódios da palma forrageira sobre a atividade água (AW) da massa ensilada pode ter influenciado negativamente a população de mofos e leveduras nas SRT. De acordo com Beuchat (1981) mofos e leveduras precisam de uma AW maior que 0,60. Assim, a AW, expressa em escala 0 a 1, é um fator determinante para o desenvolvimento de microrganismos envolvidos nos processos fermentativos da silagem (Jobim et al., 2007).

Dessa maneira, embora a SRT tenha apresentado 35% de MS em sua composição e a baixa quantidade de CSA associado a baixa atividade de água proporcionada pelos ingredientes da mistura, tornaram o processo fermentativo das SRT menos intenso, propiciando valores de pH as silagens do presente estudo (Tabela 3) acima dos recomendados ($> 3,80$ e $< 4,20$) por McDonald et al. (1991) para silagens bem fermentadas. Contudo, as SRT caracterizam-se por apresentar uma fermentação menos intensa e com valores de pH superior a 4,20, como observado por Restelatto et al. (2020) Tian et al. (2020), Wahyudi et al. (2018), Yang et al. (2021) em suas respectivas pesquisas avaliando SRT.

Embora o pH observado nas SRT (Tabela 3) possa favorecer a proliferação de microrganismos indesejáveis na massa ensilada, tais como Enterobactérias e *Clostridium*, silagens a base de palma forrageira caracterizam-se por apresentar adequado perfil fermentativo e boa qualidade higiênica, bem como, perfil fermentativo heterolático (Macêdo et al., 2018; Nogueira et al., 2019; Brito et al., 2020; Pereira et al., 2020; Santos et al., 2020; Sá et al., 2020), o que justificaria também a reduzida população de mofos e leveduras nas SRT do presente estudo (Tabela 3).

Pereira et al. (2019) identificaram na palma forrageira predominância da bactéria láctica do gênero *Weissella*, classificada como BAL heterofermentativa obrigatória. Portanto, a baixa população de mofo e leveduras na massa ensilada em decorrência do efeito deletério do gossipol, a baixa AW da mistura e do perfil fermentativo da SRT, associada a reduzida quantidade de CASr, explica o elevado tempo de EA das SRT do presente estudo (Tabela 3).

BAL heterofermentativas obrigatórias podem produzir grandes quantidades de CO_2 , dependendo do substrato utilizado (glicose e frutose) (Borreani et al., 2018). Esse metabolismo pode explicar os resultados observados para PG durante o processo de ensilagem (Tabela 4). De acordo com Silva et al. (2017), silagem com perfil fermentativo heterolático caracterizam-se por apresentar maiores perdas por PG e menor RMS. Entretanto, os valores observados para RMS no presente estudo são considerados altos ($> 900 \text{ g/kg}^{-1}$), quando adicionado a torta de

algodão na SRT. Macedo et al. (2018), Gusmão et al. (2017), Chen et al. (2016) e Miyaji et al. (2013) ao avaliarem em suas respectivas pesquisas as características fermentativas das silagens na forma de ração, constataram altos valores de RMS, corroborando com o presente estudo.

As PE durante o processo de ensilagem (Tabela 4) do presente estudo foram consideradas baixas, esse resultado foi influenciado pela baixa AW das SRT, propiciada pelos ingredientes utilizados na confecção das silagens (Tabela 1). Gusmão et al. (2017) avaliando as características fermentativas de silagens na forma de ração a base de capim elefante, constataram PE semelhantes aos observados no presente estudo. Portanto, a técnica da confecção das SRT reduz as PE e otimiza a RMS durante o processo de ensilagem, sendo o mesmo resultado esperado e efetivamente observado nas SRT a base de palma forrageira.

Desempenho produtivo dos ovinos

A qualidade da higiênica da silagem exerce influência direta sobre o consumo dos animais e, conseqüentemente, sobre seu desempenho produtivo (Muck et al., 2018; kung Jr., 2018). Portanto, as características fermentativas das SRT do presente estudo (Tabelas 3 e 4) apontam que o processo fermentativo das silagens inibiu o crescimento de microrganismos indesejáveis e, conseqüentemente, reduziram os teores de N-NH₃ (Tabelas 3), sendo este um dos principais responsáveis por inibir o consumo dos animais (Silva et al., 2017).

Dessa maneira, a composição (Tabela 1), seu processo fermentativo e os produtos da fermentação das SRT (Tabela 3) não influenciaram o consumo de nutrientes dos animais do presente estudo, exceto o CEE (Tabela 5). Brant et al. (2021) e Silva et al. (2016) ao avaliarem o desempenho produtivo e as características de carcaça de cordeiros confinados com torta de algodão como fonte proteica da dieta, não observaram efeito para as variáveis de consumo de nutrientes, exceto para a variável de CEE, com médias de 38,4 e 30,0 g/kg, respectivamente. Assim, os resultados dessas pesquisas assemelham-se aos encontrados no presente estudo.

Embora adequado processo fermentativo da silagem e a composição das SRT (Tabela 3 e 2) não tenham influenciado ($P > 0,05$) as variáveis de consumo do presente estudo, os teores de torta de algodão influenciaram positivamente a digestibilidade aparente de todos os nutrientes da dieta (Tabela 6). Os resultados de digestibilidade aparente dos nutrientes observados por Silva et al. (2016) ao avaliarem o desempenho produtivo e as características de carcaça de cordeiros confinados alimentados com o nível de 100% de substituição do farelo de sola pela torta de algodão corroboram com os do presente estudo.

Brant et al. (2021) observaram para a digestibilidade da MS, MO, PB, EE, FDN, CNF NDT médias de 620, 547, 766, 899, 528, 624 e 728 g/kg, respectivamente ao avaliarem o

desempenho produtivo de cordeiros confinados com torta de algodão como fonte proteica da dieta, corroborando com os observados no presente estudo. Contudo, Tripathi et al. (2012) não observaram efeito sobre a digestibilidade da MS, MO, PB e FDN ao avaliarem o efeito da substituição da farinha de amendoim pela torta de algodão, observando médias para o tratamento com 100% de substituição de 591,4, 633,6, 602,0 e 476,1 g/kg, respectivamente, portanto, inferiores aos resultados encontrados no presente estudo.

De acordo com Fortius et al. (2014) a digestibilidade aparente da dieta está relacionada a sua composição e a sua taxa de passagem através do rúmen. Assim, os animais do presente estudo alimentados com SRT com 30% de torta de algodão apresentaram maior tempo de retenção no rúmen quando comparado com a SRT com 0% de torta de algodão. Portanto, a fibra da torta de algodão pode substituir completamente a fibra advinda de volumoso na dieta, o que possibilita o uso de SRT tendo a palma forrageira como única fonte de forragem.

Dessa maneira, os resultados de consumo e o aumento na digestibilidade dos nutrientes das SRT à medida em que se inclui a torta de algodão explicam os valores observados para as variáveis de GP, GMD e EA dos animais (Tabela 7), que embora não tenham sofrido influência da torta de algodão, todos os tratamentos atingiram o GMD esperado (Tabela 7).

Silva et al. (2016); Souza et al. (2015); Abdel Hameed et al. (2013); Suliman e Babiker (2007) avaliarem a substituição parcial ou total do farelo de soja pela torta de algodão observaram GMD inferiores aos encontrados no presente estudo (Tabela 7). Isso estar associado ao aumentar a disponibilidade do amido e a digestibilidade da fração fibrosa da dieta, além de reduzir a seleção dos ingredientes pelos (Macêdo et al., 2018). Portanto, o uso de SRT contendo palma forrageira como única fonte de forragem e sem uma fonte fibra advinda de volumoso não deprecia o desempenho produtivo dos animais em confinamento.

Comportamento ingestivo dos ovinos

Os resultados observados na tabela 8 para o tempo despendido para alimentação, ruminação e ócio já era esperado, vista que o tempo gasto nessas atividades sofrem influência direta da composição da SRT (Tabela 2). Deste modo, a medida em que se inclui a torta de algodão e retira-se o feno de capim-buffel das SRT (20, 25 e 30% de torta de algodão) avaliadas (Tabela 2), ocorre uma redução no tempo de ruminação e aumento no tempo de ócio dos animais (Tabela 8). Esse resultado estar relacionado a baixa a efetividade da fibra advinda da torta de algodão, embora não se tenha observado no presente estudo depreciação no desempenho dos animais avaliados (Tabelas 5, 6 e 7).

Missio et al. (2010), avaliando diferentes níveis de concentrado (22%, 40%, 59% e 79%) na dieta de bovinos inteiros em confinamento, observaram uma redução no tempo despendido em ruminação com o aumento dos níveis de concentrado na dieta, dessa maneira, essas variáveis foram inversamente influenciadas pelos teores de FDN das dietas, corroborando com a presente pesquisa.

As variáveis de mastigações meréricas possuem estreita relação com o tempo de ruminação, que por sua vez sofrem influência das características físicas da dieta, a exemplo do tamanho da partícula, que é responsável por dar efetividade a fibra, sendo assim, a fibra fisicamente efetiva é a fração da fibra que estimula a atividade de mastigação (Perazzo et al., 2017; Mendes et al., 2010). Explicando a redução nas atividades de mastigação meréricas a medida em que inclui-se a torta de algodão na SRT.

Sendo assim, o comportamento ingestivo consumindo SRT está altamente relacionada às características higiênicas, físicas e químicas da SRT, no qual, silagens com maiores teores de torta de algodão proporcionam menores tempos ruminação e conseqüentemente maior tempo de ócio e menor atividade de mastigação meréricas (Tabela 8).

Os resultados observados para eficiência de alimentação, expressa em g de MS/h e g de FDN/h (Tabela 9) eram esperados, visto que essas variáveis sofrem influência dos CMS e CFDN presentes na tabela 5. Contudo, a eficiência de ruminação, expressa em g de MS/h e g de FDN/h sofreram influência dos teores de torta de algodão na SRT e concomitantemente da redução da fibra fisicamente efetiva do feno de capim-buffel (Tabela 9). Portanto, esse resultado está extremamente relacionado a taxa de passagem da SRT, visto que as SRT com maiores teores de torta de algodão (20, 25 e 30%) possuem uma maior taxa de passagem, devido seu menor tamanho da partícula e conseqüentemente reduzida quantidade de fibra fisicamente efetiva (Dias et al., 2014).

Silva et al. (2016b) avaliando o comportamento ingestivo de cordeiros alimentados com dietas contendo torta de algodão em substituição ao farelo de soja, observaram médias para eficiência de ruminação da MS e FDN no tratamento de 100% de substituição da soja pela torta de algodão de 136,15 e 68,22 g/hora, respectivamente. Contudo, vale ressaltar que os autores utilizaram o feno de capim-tifton 85 como volumoso, o que explica a semelhança dos resultados desses autores com os encontrados no presente estudo para SRT com 0% de torta de algodão.

De acordo com Dado e Allen (1995), o número de períodos de ruminação está relacionado ao teor de fibra da dieta, assim, quanto maior a quantidade de CNF menor será o número de períodos de ruminação e ócio por dia, fato este sendo observado no presente estudo a medida em que inclui-se a torta de algodão na SRT.

Assim, os resultados observados de minutos gasto por período de ruminação e ócio indicam que os teores de torta de algodão na SRT exerceram total influência no comportamento temporal dos ovinos nas condições de alimentação da presente pesquisa. Isso pode ter sido ocasionado pelas próprias características das SRT utilizadas no presente estudo, visto que a medida em que eleva-se os teores de torta de algodão na SRT se reduzem os tempos despendido com em ruminação e mastigação merícicas, refletindo em um aumento no tempo gasto em ócio pelos animais.

Em pesquisa com ovinos Santa Inês alimentados com dietas contendo farelo de cacau, Carvalho et al. (2008) observaram que o tempo médio gasto por período de ruminação e ócio de 23,4 e 24,5 por minutos, respectivamente. Contudo, os resultados encontrados por esses autores diferem dos observados no presente estudo (Tabela 9).

Embora a alimentação e ruminação sejam processos fisiológicos acionados em função da dieta, os teores de torta de algodão na SRT tendo a palma forrageira como única fonte de forragem não influencia negativamente o CMS dos ovinos, com média 1034,68 g/dia (Tabela 5). Contudo, os efeitos propiciados pela inclusão da torta de algodão na SRT sobre o tempo despendido em ruminação, ócio e mastigações merícicas (Tabela 8), bem como sobre a eficiência de ruminação, períodos de ruminação e ócio, além do tempo em minutos de ruminação e ócio influenciaram o comportamento ingestivo dos animais avaliados (Tabela 9).

Desta maneira, avaliando-se os resultados desta pesquisa, sugerem que ovinos podem consumir SRT tendo a palma forrageira como única fonte de forragem em sua composição, viabilizando a confecção dessas SRT em regiões em que há escassez de volumoso em determinado período do ano ou em secas prolongadas.

5 CONCLUSÃO

O uso da palma forrageira assegura a qualidade fermentativa e higiênica das silagens na forma de ração, independentemente das proporções de torta de algodão. Portanto, com base no desempenho produtivo e comportamento ingestivo dos ovinos da raça Dorper terminados em confinamento, recomenda-se a silagem na forma de ração com 30% de torta de algodão.

REFERÊNCIA

Abdel Hameed, A. A., Fedel Elseed, A. M., & Salih, A. M. (2013). Growth performance and rumen fermentation of lambs fed untreated or urea treated groundnut hull with different protein sources. *Journal of Animal Production Advances*, 3(3), 86-96.

AOAC (*Association of Official Analytical Chemists*). 1990. Protein (crude) determination in animal feed: Copper catalyst Kjeldahl method. (984.13). In *Official Methods of Analysis*. (15th ed.). Gaithersburg, USA.

AOAC (*Association of Official Analytical Chemists*). 2005. Official method 942.05. Determination of ash in animal feed. In *Official Methods of Analysis*. (18th ed.). Gaithersburg, USA.

Ávila, C. L. S., Carvalho, B. F., Pinto, J. C., Duarte, W. F., & Schwan, R. F. (2014). The use of *Lactobacillus* species as starter cultures for enhancing the quality of sugar cane silage. *Journal of Dairy Science*, 97(2), 940-951.

Beuchat, L. R. (1981). *Microbial stability as affected by water activity*. *Cereal Foods World*, 26(7), 345-349.

Bolsen, K. K., Lin, C., Brent, B. E., Feyerherm, A. M., Urban, J. E., & Aimutis, W. R. (1992). Effect of silage additives on the microbial succession and fermentation process of alfalfa and corn silages. *Journal of Dairy Science*, 75(11), 3066-3083.

Borreani G., Tabacco E., Schmidt R. J., Holmes B. J., and Muck R. E. (2018). Silage review: Factors affecting dry matter and quality losses in silages. *Journal of Dairy Science* 101:3952–3979.

Brant, L. M., de Freitas Júnior, J. E., Pereira, F. M., Pina, D. S., Santos, S. A., Leite, L. C., ... & de Carvalho, G. G. (2021). Effects of alternative energy and protein sources on performance, carcass characteristics, and meat quality of feedlot lambs. *Livestock Science*, 104611.

Brito, G. S. M. S., Santos, E. M., de Araújo, G. G. L., de Oliveira, J. S., de Moura Zanine, A., Perazzo, A. F., ... & Cavalcanti, H. S. (2020). Mixed silages of cactus pear and gliricidia:

chemical composition, fermentation characteristics, microbial population and aerobic stability. *Scientific Reports*, 10(1), 1-13.

Bürger, P.J., Pereira, J.C., Queiroz, A.C.D., Silva, J.F.C.D., Cecon, P.R., and Casali, A.D.P. (2000). Ingestive Behavior in Holstein Calves Fed Diets with Different Concentrate Levels. *Revista Brasileira de Zootecnia* 29:236-242.

Cardoso, A.R., Pires, C.C., Carvalho, S., Galvani, D.B., Jochims, F., Hastenpflug, M., and Wommer, T.P. (2006). Intake of nutrients and performance of lambs fed with diets containing different levels of neutral detergent fiber. *Ciência Rural* 36:215–221.

Carvalho, B. F., Ávila, C. L. S., Bernardes, T. F., Pereira, M. N., Santos, C., & Schwan, R. F. (2017). Fermentation profile and identification of lactic acid bacteria and yeasts of rehydrated corn kernel silage. *Journal of applied microbiology*, 122(3), 589-600.

Carvalho, G.G.P.D., Pires, A.J.V., Silva, R.R., Ribeiro, L.S.O., and Chagas, D.M.T. (2008). Ingestive behavior of Santa Inês sheep fed diets with cocoa meal. *Revista Brasileira de Zootecnia* 37:660-665.

Casali, A.O., Detmann, E., Valadares Filho, S.C., Pereira, J.C., Henriques, L.T., Freitas, S.G., and Paulino, M.F. (2008). Influência do tempo de incubação e do tamanho de partículas sobre os teores de compostos indigestíveis em alimentos e fezes bovinas obtidos por procedimentos in situ. *Revista Brasileira de Zootecnia* 37:335-342.

Chen, L., Guo, G., Yuan, X., Zhang, J., Li, J., & Shao, T. (2016). Effects of applying molasses, lactic acid bacteria and propionic acid on fermentation quality, aerobic stability and in vitro gas production of total mixed ration silage prepared with oat–common vetch intercrop on the Tibetan Plateau. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(5), 1678-1685.

Chen, L., Yuan, X. J., Li, J. F., Dong, Z. H., Wang, S. R., Guo, G., & Shao, T. (2019). Effects of applying lactic acid bacteria and propionic acid on fermentation quality, aerobic stability and in vitro gas production of forage-based total mixed ration silage in Tibet. *Animal production science*, 59(2), 376-383.

Corsato, C. E., Scarpore Filho, J. A., & Sales, E. C. J. D. (2008). Teores de carboidratos em órgãos lenhosos do caqui em clima tropical. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 30(2), 414-418.

Dado, R.G., and Allen, M.S. (1995). Intake limitations, feeding behavior, and rumen function of cows challenged with rumen fill from dietary fiber or inert bulk. *Journal of Dairy Science* 78:118-133.

Dias, D. L. S., Silva, R. R., Silva, F. F. D., Carvalho, G. G. P. D., Barroso, D. S., & Carvalho, V. M. (2014). Correlation between performance and ingestive behavior of steers post-weaned on pastures. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 36, 85-91.

Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. T., & Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical chemistry*, 28(3), 350-356.

Gomes, S.P., Borges, A.L.C.C., Borges, I., Júnior, G.D.L.M., Silva, A.G.M., and Pancoti, C.G. (2012). Effect of the forage particle size and the number of feedings on intake and digestibility in sheep. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal* 13:137-149.

Gusmao, J. O., Danés, M. A. C., Casagrande, D. R., & Bernardes, T. F. (2018). Total mixed ration silage containing elephant grass for small-scale dairy farms. *Grass and Forage Science*, 73(3), 717-726.

Hall, M.B. (2000). *Calculation of non-structural carbohydrate content of feeds that contain non-protein nitrogen*. p. A25-A32. (ed.). Gainesville: University of Florida.

Jobim, C. C., Nussio, L. G., Reis, R. A., & Schmidt, P. (2007). Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36, 101-119.

Kung Jr, L., Robinson, J. R., Ranjit, N. K., Chen, J. H., Golt, C. M., & Pesek, J. D. (2000). Microbial populations, fermentation end-products, and aerobic stability of corn silage treated with ammonia or a propionic acid-based preservative. *Journal of dairy science*, 83(7), 1479-1486.

- Kung Jr, L., Shaver, R. D., Grant, R. J., & Schmidt, R. J. (2018). Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. *Journal of dairy Science*, 101(5), 4020-4033.
- Licitra, G., Hernandez, T.M., and Van Soest, P.J. (1996). Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. *Animal Feed Science and Technology* 57:347-358.
- Lins, S. E. B., Pessoa, R. A. S., Ferreira, M. D. A., Campos, J. M. D. S., Silva, J. A. B. A. D., Silva, J. D. L., ... & Melo, T. T. D. B. (2016). Spineless cactus as a replacement for wheat bran in sugar cane-based diets for sheep: intake, digestibility, and ruminal parameters. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 45, 26-31.
- Macêdo, A. J. D. S., Santos, E. M., Araújo, G. G. L. D., Edvan, R. L., Oliveira, J. S. D., Perazzo, A. F., ... & Pereira, D. M. (2018). Silages in the form of diet based on spineless cactus and buffelgrass. *African Journal of Range & Forage Science*, 35(2), 121-129.
- McDonald, P., Henderson, A. R., & Heron, S. J. E. (1991). *The biochemistry of silage*; 2nd. Marlow: Chalcombe Publications.
- Mendes, C.Q., Turino, V.D.F., Susin, I., Pires, A.V., Morais, J.B.D., and Gentil, R.S. (2010). Lamb feeding behavior and nutrient digestibility of high concentrate diets with different neutral detergent fiber sources. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39:594–600.
- Mertens, D.R. (2002). Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beaker or crucibles: collaborative study. *Journal of AOAC International*, 85:1217-1240.
- Missio, R.L., Brondani, I.L., Alves Filho, D.C., Silveira, M.F.D., Freitas, L.D.S., and Restle, J. (2010). Ingestive behavior of feedlot finished young bulls fed different concentrate levels in the diet. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39:1571–1578.

Muck, R. E., Nadeau, E. M. G., McAllister, T. A., Contreras-Govea, F. E., Santos, M. C., & Kung Jr, L. (2018). Silage review: Recent advances and future uses of silage additives. *Journal of dairy science*, 101(5), 3980-4000.

Nocek, J.E. (1988). In situ and Other Methods to Estimate Ruminal Protein and Energy Digestibility: A Review. *Journal of Dairy Science*, 71:2051–2069.

Nogueira, M. D. S., Araújo, G. G. L., Santos, E. M., Gonzaga Neto, S., Oliveira, J. S., Perazzo, A. F., ... & Pereira, D. M. (2019). Feed alternatives with cactus forage silage for animal nutrition. *International Journal of Agriculture and Biology*, 22(6), 1393-1398.

NRC (*Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids*). (2007). National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Seventh Revised Edition. Washington, DC: The National Academies Press.

Oliveira, M. D. S., Feddern, V., Kupski, L., Cipolatti, E. P., Badiale-Furlong, E., & de Souza-Soares, L. A. (2009). Physico-chemical characterization of fermented rice bran biomass. Caracterización físico-química de la biomasa del salvado de arroz fermentado. *CyTA—Journal of Food*, 8(3), 229-236.

Perazzo, A.F., Homem Neto, S.D.P., Ribeiro, O.L., Santos, E.M., de Carvalho, G.G.P., de Oliveira, J.S., ... and de Freitas Junior, J.E. (2017). Intake and ingestive behavior of lambs fed diets containing ammoniated buffel grass hay. *Tropical animal health and production*, 49:717-724.

Pereira, G. A., Santos, E. M., Araújo, G. G. L., Oliveira, J. S., Pinho, R. M. A., Zanine, A. D. M., ... & Nascimento, T. V. C. (2019). 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*, 157(9-10), 684-692.

Polli, V.A., Restle, J., Senna, D.B., Rosa, C.E., Aguirre, L.F., and Silva, J.H.S.D. (1996). Behavior of bovine and bubaline steers in feedlot regimen. *Revista Brasileira de Zootecnia* 25:987-993.

Restelatto, R., Novinski, C. O., Pereira, L. M., Silva, E. P., Volpi, D., Zopollatto, M., ... & Faciola, A. P. (2019). Chemical composition, fermentative losses, and microbial counts of total mixed ration silages inoculated with different *Lactobacillus* species. *Journal of animal science*, 97(4), 1634-1644.

Sá, W. C. C. S., Santos, E. M., de Oliveira, J. S., de Araujo, G. G. L., Perazzo, A. F., da Silva, A. L., ... & Leite, G. M. (2020). Fermentative characteristics and chemical composition of cochineal nopal cactus silage containing chemical and microbial additives. *The Journal of Agricultural Science*, 1-9.

Saenz, E. A. C. (2005). Modeling of feed particle size reduction in the ruminants nutrition. *Ciência e Agrotecnologia*, 29(4), 886-893.

Santos, E. M., Pereira, O. G., Garcia, R., Ferreira, C. L. L. F., Oliveira, J. S., & Silva, T. C. (2014). Effect of regrowth interval and a microbial inoculant on the fermentation profile and dry matter recovery of guinea grass silages. *Journal of Dairy Science*, 97(7), 4423-4432.

Santos, F. N. S., Santos, E. M., Oliveira, J. S., Medeiros, G. R., Zanine, A. M., Araújo, G. G. L., ... & Oliveira, C. J. B. (2020). Fermentation profile, microbial populations, taxonomic diversity and aerobic stability of total mixed ration silages based on Cactus and *Gliricidia*. *The Journal of Agricultural Science*, 158(5), 396-405.

Schmidt, C. G., Gonçalves, L. M., Prietto, L., Hackbart, H. S., & Furlong, E. B. (2014). Antioxidant activity and enzyme inhibition of phenolic acids from fermented rice bran with fungus *Rizhopus oryzae*. *Food chemistry*, 146, 371-377.

Silva, D.J., & Queiroz, A.C. (2002). *Análises de alimentos (métodos químicos e biológicos)*. 3.ed. Viçosa, MG: Editora UFV. p235.

Silva, R. V. M. M., de Carvalho, G. G. P., Pires, A. J. V., Pereira, M. L. A., Pereira, L., Campos, F. S., ... & de Carvalho, B. M. A. (2016). Cottonseed cake in substitution of soybean meal in diets for finishing lambs. *Small Ruminant Research*, 137, 183-188.

Silva, R. V. M. M., de Carvalho, G. G. P., Pires, A. J. V., Pereira, M. L. A., Pereira, L., Campos, F. S., ... & de Almeida Rufino, L. M. (2016b). Nitrogen balance, microbial protein synthesis and ingestive behavior of lambs fed diets containing cottonseed cake in substitution of soybean meal. *Semina: Ciências Agrárias*, 37(4), 2155-2166.

Silva, T. C., Da Silva, L. D., Santos, E. M., Oliveira, J. S., & Perazzo, A. F. (2017). Importance of the fermentation to produce high-quality silage. *Fermentation Processes*, 1-20.

Siqueira, M. C., Ferreira, M. D. A., Monnerat, J. P. I. D. S., Silva, J. D. L., Costa, C. T., da Conceição, M. G., ... & Melo, T. T. D. B. (2017). Optimizing the use of spineless cactus in the diets of cattle: Total and partial digestibility, fiber dynamics and ruminal parameters. *Animal Feed Science and Technology*, 226, 56-64.

Souza, L. L., Azevêdo, J. A. G., de Araújo, G. G. L., dos Santos-Cruz, C. L., dos Santos Cabral, Í., de Almeida, F. M., ... & Oliveira, B. S. (2015). Crude glycerin for santa inês and F1 Dorper× Santa Inês lambs. *Small Ruminant Research*, 129, 1-5.

Souza, M. M. D., Prietto, L., Ribeiro, A. C., Souza, T. D. D., & Badiale-Furlong, E. (2011). Assessment of the antifungal activity of *Spirulina platensis* phenolic extract against *Aspergillus flavus*. *Ciência e Agrotecnologia*, 35, 1050-1058.

Suliman, G. M., Babiker, S. A., & Eichinger, H. M. (2007). Effect of diet-protein source on lamb fattening. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 3(5), 403-408.

Tian, P., Vyas, D., Niu, D., Zuo, S., & Xu, C. (2020). Effects of calcium carbonate on the fermentation quality and aerobic stability of total mixed ration silage. *Anim. Feed Sci*, 29, 167-174.

Van Soest, P.J., Robertson, J.B., and Lewis, B.A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74:3583-3597.

Wahyudi, A., Pamungkas, D., Setyobudi, R. H., Hendraningsih, L., & Vincēviča-Gaile, Z. (2017). Organic Acid and Nutrient Composition of Lactic Acid Bacteria Inoculated Total

Mixed Ration Silage under Tropical Condition: Organic Acids and Nutrients Composition of Lactic Acid Bacteria. *Proceedings of the Pakistan Academy of Sciences: B. Life and Environmental Sciences*, 54(1), 41-45.

Weiss, W.P. 1999. Energy prediction equations for ruminant feeds. p. 176-185. In *Cornell nutrition conference for feed manufacturers*, 61, Ithaca: Cornell University.

Yang, H., Wang, B., Zhang, Q., Cheng, H., & Yu, Z. (2021). Improvement of Fermentation Quality in the Fermented Total Mixed Ration with Oat Silage. *Microorganisms*, 9(2), 420.

Zanine, A. D. M., Santos, E. M., Dórea, J. R. R., Dantas, P. A. D. S., Silva, T. C. D., & Pereira, O. G. (2010). Evaluation of elephant grass silage with the addition of cassava scrapings. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39(12), 2611-2616.

Ramos, A. O., Ferreira, M. D. A., Vêras, A. S. C., Costa, S. B. D. M., Conceição, M. G. D., Silva, E. C. D., ... & Souza, A. R. D. L. (2013). Diferentes fontes de fibra em dietas a base de palma forrageira na alimentação de ovinos. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 14, 648-659.

Cavalcante, L. A. D., Santos, G. R. D. A., Silva, L. M. D., Fagundes, J. L., & Silva, M. A. D. (2014). Respostas de genótipos de palma forrageira a diferentes densidades de cultivo. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 44, 424-433.

Da Silva, B. K., Silva de Oliveira, J., Mauro Santos, E., de Farias Ramos, J. P., Queiroga Cartaxo, F., Naves Givisiez, P. E., ... & de Moura Zanine, A. (2021). Cactus Pear as Roughage Source Feeding Confined Lambs: Performance, Carcass Characteristics, and Economic Analysis. *Agronomy*, 11(4), 625.

CONSIDERAÇÕES FINAIS E IMPLICAÇÕES

Tomando em consideração os resultados obtidos no primeiro e segundo capítulo, foi possível concluir que a palma forrageira possui um promissor potencial de uso como aditivo para silagens, visando melhorar às características microbiológicas, fermentativas e a estabilidade aeróbia das silagens, bem como a digestibilidade ruminal do grão de milho reidratado. Contudo, é preciso mais estudos dessa natureza para consolidar o uso da palma forrageira como aditivo para silagens.

Considerando os resultados obtidos no terceiro capítulo, com silagens na forma de ração a base de palma forrageira e torta de algodão, foi possível concluir que a técnica da ensilagem possibilita a terminação de ovinos com dietas contendo a palma forrageira como única fonte de forragem da dieta. Portanto, o presente estudo contribui para a geração de uma nova técnica de manejo alimentar de pequenos ruminantes em sistemas produtivos focados na otimização do uso da palma forragens na alimentação animal.

De modo geral, os resultados obtidos nas três pesquisas desenvolvidas, contribui para o uso mais expressivo das silagens aditivadas com a palma forrageira e de silagens na forma de ração a base de palma forrageira como forma de garantir a oferta de produtos de origem animal durante todo o ano, reduzindo os riscos econômicos da atividade para os produtores rurais, assegurando uma produção eficiente e estável.