

Efeito de filmes nanocompósitos sobre características químico-fermentativas da silagem de milho

Effect of nanocomposite films on chemical-fermentative characteristics of corn silage

Efecto de las películas de nanocomposite sobre las características químico-fermentativas del ensilaje de maíz

Priscylla Jordânia Pereira de Mesquita¹

Renata Barbosa²

Tatianny Soares Alves³

Darla Silveira Volcan⁴

Anna Carolina Cerato Confortin⁵

Elton Pilar Medeiros⁶

RECEBIDO EM 04/07/2023

ACEITO EM 14/11/2023

RESUMO

Neste trabalho, foram analisadas as propriedades bromatológicas da silagem de milho, utilizando diferentes filmes de vedação. Foram utilizados filmes nanocompósitos de polietileno de alta densidade (BPEAD)/argila organofílica (3 e 6%)/aditivo antimicrobiano comercial (0,5 e 1%), contendo 1% de piritionato de zinco disperso em acetato de vinila (EVA). Os filmes nanocompósitos foram preparados em extrusora monorosca utilizando a técnica de intercalação por fusão e, posteriormente, por extrusão plana para obtenção dos filmes com espessura de 60 a 200 μm . Também foi utilizada, para vias de comparação, uma lona dupla face comercial de 200 μm . Foram utilizados silos experimentais de PVC e, após 45 dias, a silagem foi avaliada quanto as perdas por deterioração aeróbica, gases e efluentes, densidade, avaliação

¹ Instituto Federal Farroupilha, *Campus Alegrete*, Alegrete, RS, Brasil.
priscylla.mesquita@iffarroupilha.edu.br - <https://orcid.org/0000-0002-5350-0530>

² Universidade Federal do Piauí, *Campus Teresina*, Teresina, PI, Brasil.
rrenatabarbose@yahoo.com - <https://orcid.org/0000-0001-6969-394X>

³ Universidade Federal do Piauí, *Campus Teresina*, Teresina, PI, Brasil.
tatiannysoares@ufpi.edu.br - <https://orcid.org/0000-0002-6790-3314>

⁴ Instituto Federal Farroupilha, *Campus Alegrete*, Alegrete, RS, Brasil.
darla.maia@iffarroupilha.edu.br - <https://orcid.org/0000-0003-3038-639X>

⁵ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, *Campus Ibirubá*, Ibirubá, RS, Brasil.
anna.confortin@ibiruba.ifrs.edu.br - <https://orcid.org/0000-0001-9422-1629>

⁶ Instituto Federal de Farroupilha, *Campus Alegrete*, Alegrete, RS, Brasil.
elton.medeiros@iffarroupilha.edu.br - <https://orcid.org/0000-0002-3383-8489>

sensorial, pH, estabilidade aeróbica, massa seca, matéria mineral e orgânica, proteína bruta, extrato etéreo e carboidratos. Todos os parâmetros bromatológicos analisados ficaram dentro das faixas requeridas para a produção de uma silagem de qualidade, não sendo possível observar variação significativa nas características químico-fermentativas em função da vedação utilizada. Os resultados dos filmes nanocompósitos produzidos demonstraram o mesmo desempenho quanto à conservação da silagem que a lona comercial.

PALAVRAS-CHAVE: silagem; filmes nanocompósitos; milho.

ABSTRACT

In this work, the bromatological properties of corn silage using different sealing films were analyzed. High-density polyethylene (BPEAD)/organophilic clay (3 and 6%), commercial antimicrobial additive (0.5 and 1%) nanocomposite films containing 1% zinc pyriithione dispersed in vinyl acetate (EVA) were used. The nanocomposite films were prepared in a single screw extruder using the fusion intercalation technique and later by flat extrusion to obtain films with a thickness of 60 to 200 μm . A 200 μm commercial double-sided tarpaulin was also used for comparison purposes. PVC experimental silos were used and after 45 days the silage was evaluated for losses due to aerobic deterioration, gases and effluents, density, sensory evaluation, pH, aerobic stability, dry mass, mineral and organic matter, crude protein, ether extract, and carbohydrates. All bromatological parameters analyzed were within the ranges required for the production of quality silage, and it wasn't possible to observe significant variation in chemical-fermentative characteristics depending on the seal used. The results of the nanocomposite films produced showed the same performance in terms of silage conservation as the commercial canvas.

KEYWORDS: silage; nanocomposite films; corn.

RESUMEN

En este trabajo se analizaron las propiedades bromatológicas del ensilaje de maíz utilizando diferentes películas de sellado. Se utilizaron películas de nanocompuestos de polietileno de alta densidad (BPEAD)/arcilla organófila (3 y 6%)/aditivo antimicrobiano comercial (0,5 y 1%) que contenían piritona de zinc al 1% dispersa en acetato de vinilo (EVA). Las películas de nanocompuestos se prepa-

raron en una extrusora de un solo tornillo utilizando la técnica de intercalación por fusión y, posteriormente, por extrusión plana para obtener películas con un espesor de 60 a 200 μm . También se usó una lona comercial de doble cara de 200 μm con fines de comparación. Se utilizaron silos experimentales de PVC y, a los 45 días, se evaluó el ensilaje en cuanto a pérdidas por deterioro aeróbico, gases y efluentes, densidad, evaluación sensorial, pH, estabilidad aeróbica, masa seca, materia mineral y orgánica, proteína bruta, extracto etéreo y carbohidratos. Todos los parámetros bromatológicos analizados estuvieron dentro de los rangos requeridos para la producción de ensilaje de calidad, y no fue posible observar una variación significativa en las características químico-fermentativas según el sello utilizado. Los resultados de las películas de nanocompuestos producidos mostraron el mismo desempeño en términos de conservación del ensilaje que la lona comercial.

PALABRAS CLAVE: ensilaje; películas de nanocompuestos; maíz.

1 Introdução

A silagem é uma técnica de conservação das forragens para alimentação animal em épocas do ano em que a disponibilidade de pastagem é restrita, sendo um produto da fermentação de culturas agrícolas em condições de anaerobiose (McDonald; Henderson; Heron, 1991). Dentre os tipos de forragens usualmente utilizadas para silagem, a de milho apresenta valor nutritivo e potencial produtivo de matéria seca ideais para alimentação de bovinos confinados (Oliveira; Millen, 2014).

O milho é a cultura mais utilizada no Brasil na produção de silagem em fazendas leiteiras (Scheler; Cavichioli, 2021), pois apresenta: período de semeadura flexível, colheita tanto para grãos como para silagem, processos de mecanização viáveis da semeadura até a ensilagem, padrão fermentativo adequado dentro do silo, alta produção de matéria seca com teor entre 28 a 40% e de carboidratos solúveis, bem como baixo poder tamponante (Nussio, 1991).

No entanto, devido ao seu alto valor nutritivo, também está propenso à deterioração aeróbica, devido à presença de oxigênio que desencadeia a proliferação de microrganismos indesejáveis. A má conservação da silagem pode influenciar na ingestão e digestibilidade, afetando o valor alimentar e a resposta do animal (Ashbell *et al.*, 2002; Borreani; Bernardes; Tabacco, 2008).

Dessa forma, a obtenção de condições específicas para uma correta fermentação depende da manutenção de um ambiente anaeróbico no silo de armazenamento (Silva *et al.*, 2015). Muitos fatores colaboram para a obtenção da anaerobiose, e a vedação do silo é essencial para preservar a massa ensilada, impedindo a entrada de ar e água que podem deteriorar a silagem, provocando o seu descarte (Neumann *et al.*, 2017).

O uso de filmes plásticos na vedação de silos tem sido reportado desde a década de 1950, sendo utilizado inicialmente o policloreto de vinila (PVC) e, posteriormente substituído pelo polietileno (PE), que por seu baixo custo e características mecânicas é empregado até hoje para vedação de silos (Borreani; Tabacco; Cavallarin, 2007; Borreani; Tabacco, 2008).

Apesar disso, não é possível o isolamento total do oxigênio com o polietileno, ocasionando perdas significativas das características químico-fermentativas da silagem (Bernardes *et al.*, 2018). Dessa forma, o desenvolvimento de filmes de polietileno e argila tem sido uma alternativa, pois combina a capacidade de barreira da argila com a boa resistência mecânica do polietileno. Morales *et al.* (2010) observou um ganho considerável nas propriedades de barreira utilizando blendas poliméricas de polietileno de baixa e alta densidade com adição de argila montmorilonita organofílica. Assim, como Araújo *et al.* (2012) analisando nanocompósitos de polipropileno e a mesma argila.

Avaliar os sistemas de vedação tornou-se necessário para mensurar as perdas geradas pela entrada de oxigênio. Cristo (2021) utilizou diferentes tipos de polietileno com dupla face para vedação de silagem de milho e observaram que os filmes de polietileno com espessura de 200 μm e com uma película impermeável ao oxigênio obtiveram os melhores resultados quanto ao pH, temperatura, perdas físicas de matéria seca e estabilidade aeróbica.

Muitos estudos se concentram na formação de microrganismos dentro silo, sejam eles desejáveis (bactérias anaeróbicas), ou indesejáveis (fungos e bactérias aeróbicas). Em silos horizontais, do tipo trincheira ou de superfície, muitas vezes são utilizados pneus, terra, cascalho e outros materiais que consigam contribuir para a compressão do filme contra a massa de silagem. Nesse aspecto, não há estudos que utilizem aditivos antimicrobianos incorporados ao filme de polietileno que possam inibir o crescimento de fungos e bactérias que se alojem na superfície do filme advindo desses materiais e contaminando a silagem no período de desabastecimento.

Nesse sentido, este trabalho desenvolveu filmes de nanocompósitos a base polietileno de alta densidade, aditivados com argila montmorilonita organofílica e um aditivo antimicrobiano por meio da técnica de extrusão plana. Os filmes produzidos foram utilizados como vedação de silos experimentais para conservação de silagem de milho, em comparação com lona plástica comercial. Para análise das características químico-fermentativas das silagens produzidas foram avaliadas as perdas por deterioração aeróbica por gases e efluentes, densidade, avaliação sensorial, pH, estabilidade aeróbica, massa seca, matéria mineral e orgânica, proteína bruta, extrato etéreo e carboidratos.

2 Material e Métodos

2.1 Materiais

O híbrido de milho utilizado foi o MG580 desenvolvido pela Morgan Sementes, com semeadura em 19/10/2021, com total de 65 mil plantas por hectare. As sementes foram semeadas (área de um hectare), dessecada com três litros de glifosato por hectare no dia 15/10/2021. A adubação de base foi feita com 250 kg por hectare de NPK 5-20-20 e, adubação de cobertura, com 20 Kg por hectare de ureia (45-00-00).

Após o plantio, houve tratamento com dois litros de glifosato por hectare. As plantas foram colhidas na maturação correta para silagem, em que as folhas estão verdes e os grãos apresentam 50% da linha de leite. A colheita foi mecânica, utilizando-se colhedora de forragem, tracionada por trator, em linha de quatro rolos, dez facas e rotor de 1300 rpm (fabricado pela Pinheiro, modelo Pecu 9004, Geração 4). As facas foram afiadas no início do dia de trabalho e reguladas para corte com tamanho teórico de partículas de 10 mm.

Os materiais utilizados nos filmes nanocompósitos foram: o Biopolietileno de Alta Densidade (BPEAD, SGM9450F), MFI = 9,3 g/10min, ASTM 1238 a 190°C (da BRASKEM, fornecido pelo Polo Petroquímico, Triunfo, Brasil); a argila organofílica foi a comercial Cloisite 20^a, fornecida pela *Southern Clay Products*; e o aditivo antimicrobiano utilizado foi o Sanitized MB E 22-70 fornecido pela *Clariant*, contendo o composto ativo a base de pirionato de zinco disperso em matriz de acetato de vinila.

Para comparação dos efeitos dos filmes nanocompósitos obtidos neste trabalho foi utilizada uma lona comercial dupla face coextrusada em preto e branco, fabricadas pela Paperplast, especialmente para silagem, com espessura de 200 µm.

2.2 Preparação dos filmes nanocompósitos

As amostras foram preparadas utilizando BPEAD/Cloisite 20A e BPEAD/ Aditivo Antimicrobiano conforme metodologia descrita por Mesquita, Alves e Barbosa (2022) e de acordo com as proporções da Tabela 1.

TABELA 1 – Concentrações das amostras.

Amostras	Pead verde	Antimicrobiano	Argila
BPEAD	100,0%	-	-
N31	96,5%	0,5%	3,0%
N32	96,0%	1,0%	3,0%
N61	93,5%	0,5%	6,0%
N62	93,0%	1,0%	6,0%

Fonte: Arquivo pessoal (2024).

2.3 Silos Experimentais

Os silos experimentais foram produzidos a partir de canos de PVC nas seguintes dimensões: 10 cm de diâmetro, 65 cm de altura e área de 0,003925 m³. O fundo do cano foi vedado com uma conexão tipo CAP também em PVC e preenchido com britas nas numerações 2 e 3 até altura de 15 cm e no topo das britas foi colocado duas camadas de tecido TNT.

A forragem foi colocada nos silos experimentais e compactada com o auxílio de um soquete sendo compactada até o limite do silo e vedada com os filmes produzidos (BPEAD, N31, N32, N61 e N62) e como comparação utilizou-se uma lona dupla face de 200 μm . Para contenção de cada silo, foram usadas fitas adesivas, conforme ilustra a Figura 1.

FIGURA 1 – Vedação dos silos experimentais.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Os silos fechados foram pesados (média de 3,7 kg) e armazenados em temperatura ambiente, sob a proteção da luz solar e da chuva, durante 45 dias. A ensilagem foi realizada em triplicata para cada vedação utilizada; após 45 dias os silos foram pesados nas formas fechadas e abertas. Na abertura, foi descartada a porção superficial de aproximadamente 10 cm e a silagem retirada do silo foi homogeneizada em bandejas plásticas para avaliação sensorial e posteriores análises.

2.4 Avaliação de perdas por deterioração aeróbica, gases e efluentes

As perdas por deterioração aeróbica da silagem foram estimadas na abertura do silo através da pesagem da silagem, visivelmente alterada por deterioração quando o silo foi aberto. A densidade foi obtida através da relação entre massa ensilada e volume do silo. E as perdas por gases e efluentes foram quantificadas conforme metodologia de França *et al.*, (2011).

2.5 Avaliação Sensorial, pH e estabilidade aeróbica

Após a abertura dos silos foram observados os parâmetros descritos por Meyer, Bronsch e Liebetseder (1989) no que tange a avaliação sensorial, tais como cor, odor, umidade, presença de microrganismos, contaminantes, dentre outros. As leituras de pH foram realizadas na abertura do silo, após 1 e 5 dias, segundo metodologia descrita por Silva e Queiroz (2006).

Para avaliação da estabilidade aeróbica, após a abertura dos silos, imediatamente foi retirado 1 kg de silagem e homogeneizado, sendo colocados em béqueres plásticos armazenados em câmara climática a 25 ± 1 °C. As temperaturas das silagens foram obtidas em intervalos de 12 horas através de termômetros que foram colocados no meio da massa da silagem a uma altura de 10 cm do topo do béquer. O ambiente foi monitorado através da temperatura observada pelo termostato da câmara climática e também por termômetros dentro do refrigerador. A observação da estabilidade aeróbica se deu após a abertura do silo, onde cerca de 1 kg de silagem foi armazenada em uma câmara de climática a 25 ± 1 e foi monitorado a temperatura até que apresentasse elevação em 2 °C em relação à temperatura ambiente (Driehuis; Oude Elferink; Van Wikselaar, 2001).

2.6 Análise Bromatológica

Foi realizada a determinação da massa seca (MS), em estufa a 105 °C por 4 horas, e a matéria mineral (MM) e a matéria orgânica (MO), por incineração a 550°C, durante 4 horas, conforme técnicas descritas por Silva e Queiroz (2006). A proteína bruta (PB) foi realizada pelo método micro Kjeldahl e a determinação do extrato etéreo (EE) foi realizada por extrator do tipo Soxhlet, conforme metodologias descritas por AOAC (920.87 de 2005 e 963.15 de 2002), Cecchi (2003) e Salman et al. (2010). Os carboidratos totais (CT) foram calculados conforme metodologia descrita por Sniffen, O'connor e Van Soest (1992), sendo que: $CT = 100 - (\%PB + \%EE + \%MM)$.

2.7 Análise dos dados

A análise de todos os dados foi realizada através do programa Excel[®] da Microsoft. Os valores foram expressos através da média e desvio padrão.

3 Resultados e Discussão

3.1 Avaliações de Perdas

A silagem da superfície do silo é mais propensa à deterioração, devido à menor compactação e maior porosidade, podendo ser agravado pelo tipo de vedação utilizado (Borreani *et al.*, 2013; Neumann *et al.*, 2017). A Tabela 2 apresenta os dados dos pesos das silagens descartadas da superfície do silo devido à deterioração aeróbica observando perdas em torno de 15 a 20%. Bernardes e Adesogan (2012), em pesquisas sobre ocorrência de deterioração aeróbica, em fazendas leiteiras, constataram perdas de 10 a 30% na produção

de silagem. Assim, os valores encontrados neste trabalho estão condizentes com as condições normais de produção de silagem.

Comparando os filmes utilizados na vedação, observa-se que o silo vedado com N61 obteve maiores percentuais de perda por deterioração aeróbica, com 20%, seguido do N62, com 19%. Os demais filmes (BPEAD, N31 e N32) e a lona ficaram com aproximadamente com 15 a 16% de perda, respectivamente. O silo vedado com N62 e N61 obtiveram menores densidades, justificando as maiores perdas por deterioração, tendo em vista que a compactação tem a função de retirar o ar entre as partículas da forragem.

Os arquivos de estudo consideram valores mínimos de densidade para a silagem do milho de 225 Kg de MS/m³ (Jobim *et al.*, 2007; Muck; Holmes, 2000; Igarasi, 2002). Para tanto, conforme a Tabela 2, todas as amostras tiveram densidades superiores ao limite mínimo: BPEAD (421,92 kg/m³), N31 (418,39 kg/m³), N32 (431,99 kg/m³), N61 (444,39 kg/m³), N62 (427,23 kg/m³) e LONA (452,53 kg/m³).

As perdas por gases e efluentes variam conforme a quantidade de matéria seca, tipo de silo, faixa de corte, qualidade da forrageira, tamanho das partículas, dentre outros aspectos (Weinberg; Ashbell, 2003). A Tabela 2 mostra também as perdas por gases e efluentes para os silos vedados com os filmes e a lona comercial, observando que o silo vedado com N62 obteve a maior geração de gases e efluentes, enquanto os demais filmes (N31, N32 e N61) ficaram com valores próximos ao silo vedado com a lona.

De forma geral, os filmes e a lona mantiveram um comportamento similar em relação às perdas. As composições com argila e aditivo antimicrobiano não demonstraram maior poder de barreira contra o oxigênio, nem sob a proliferação de microrganismos indesejáveis, quando comparadas às composições BPEAD e lona. Este fato pode ser justificado por se tratar de

coberturas que utilizaram o mesmo polímero e com filmes de espessuras próximas a 200 µm. Savoie e Jofriet (2003) utilizou cinco filmes de polietileno usualmente utilizados comercialmente com espessuras que variavam de 96 a 192 µm para avaliar a resistência física em função da espessura. Após 10 meses, observou que a resistência do filme é diretamente proporcional a sua espessura. Logo, observa-se que filmes de mesmo material e espessuras próximas tendem a ter o mesmo comportamento.

TABELA 2 – Avaliação das perdas: por gases, efluentes e deterioração aeróbica; valores de densidade.

Amostras	Perda por Gases (kg)	Perda por efluentes (kg)	Perda por deterioração aeróbica (Kg)	Densidade (Kg/m ³)
BPEAD	0,65 ± 0,05	0,46 ± 0,06	0,27 ± 0,03	421,92 ± 25,27
N31	0,58 ± 0,05	0,40 ± 0,07	0,26 ± 0,05	418,39 ± 23,45
N32	0,62 ± 0,03	0,44 ± 0,04	0,27 ± 0,07	431,99 ± 14,91
N61	0,65 ± 0,04	0,47 ± 0,05	0,36 ± 0,05	444,39 ± 5,33
N62	0,86 ± 0,02	0,59 ± 0,04	0,33 ± 0,03	427,23 ± 30,97
LONA	0,64 ± 0,09	0,52 ± 0,06	0,30 ± 0,05	452,53 ± 13,03

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

3.2 Avaliação Sensorial, pH e estabilidade aeróbica

A Figura 2 ilustra a avaliação sensorial da silagem se dá a partir da observação de aspectos relacionados a cor, cheiro, presença de água e presença de microrganismos como fungos e leveduras. De forma que, para se considerar uma boa silagem esta deve estar com a cor amarela ou verde-claro, apresentar odor avinagrado e com pouca umidade, demonstrando assim que foi bem conversada.

Os aspectos sensoriais foram avaliados individualmente por silo e pode-se notar que todas as amostras, independente da vedação utilizada, tiveram aspectos muito semelhantes. Sugere-se que houve boa compactação e vedação, pois o odor foi agradável, com leves traços de ácido, sem indício de putrefação para todas as amostras. A cor visualizada foi o verde a amarelo-esverdeado, o que é desejável para a silagem. Através da manipulação, observou-se presença de água quando bem comprimida ou moderadamente seca, logo com teor adequado de massa seca para BPEAD, N31, N32 e LONA. Observando maior umidade para N61 e N62. A silagem então foi considerada “boa a muito boa” conforme os critérios de análise descritos por Meyer, Bronsch e Liebetseder (1989).

O pH ideal depende da umidade e da temperatura do material ensilado, sendo que para silagens com teor de massa seca superior a 20% é aceitável um pH próximo de 4 para obter conservação satisfatória (Bernardes *et al.*, 2018; Borreani *et al.* 2013). A Tabela 3 ilustra os valores de pH para a silagem após 0, 1 e 5 dias após abertura do silo.

FIGURA 2 – Avaliação sensorial: (a) cor, (b) manipulação e (c) odor.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

TABELA 3 – Valores do pH das silagens de milho com diferentes vedações, após 0, 1 e 5 dias da abertura do silo.

Amostras	pH		
	0 dia	1º dia	5º dia
BPEAD	3,65 ± 0,04	4,45 ± 0,06	3,96 ± 0,05
N31	3,73 ± 0,03	4,04 ± 0,02	3,73 ± 0,07
N32	3,75 ± 0,06	4,02 ± 0,03	3,96 ± 0,03
N61	3,77 ± 0,05	4,06 ± 0,04	4,14 ± 0,05
N62	3,68 ± 0,03	4,06 ± 0,03	3,51 ± 0,06
LONA	3,83 ± 0,04	3,96 ± 0,04	4,54 ± 0,03

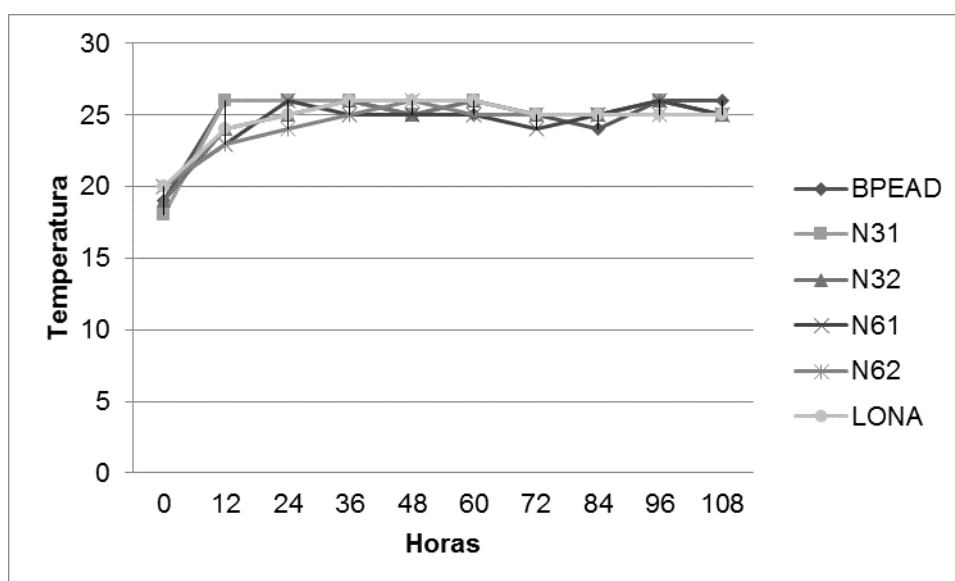
Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Observa-se que as silagens após a abertura apresentaram pH conforme esperado com média em aproximadamente 3,73, sendo que o silo vedado com BPEAD teve o menor pH (3,65) enquanto o que foi vedado com a lona o maior (3,83). Cristo (2021), em estudos utilizando como vedação filmes de polietileno dupla face com espessuras de 110 μm , 200 μm e com película impermeável ao oxigênio, obtiveram valores de pH de 4,12, 4,04 e 4,02 respectivamente. Observando que para esse parâmetro as variações de pH não foram tão significativas, principalmente ao se comparar os filmes de 200 μm e os com película.

Após um dia em contato com o ar observou-se ligeiro aumento do pH, principalmente para a silagem vedada com BPEAD. Após 5 dias, houve redução do pH para BPEAD, N31, N32 e N62, enquanto para N61 e LONA observou-se um pequeno aumento.

A Figura 3 ilustra a variação de temperatura após a abertura do silo, onde é possível observar que as silagens não apresentaram aquecimento no desabastecimento do silo, pois estavam com temperatura média de 19 °C. Após 12h, as silagens vedadas com BPEAD e N31 alcançaram 26 °C, enquanto as demais vedações se mantiveram entre 23 e 24 °C. O aumento rápido de temperatura em 12h indicou que houve boa vedação com baixa concentração de oxigênio, pois no período de fermentação, os microrganismos aeróbicos cessam suas atividades. No entanto, na abertura do silo, as silagens são expostas ao oxigênio, e os microrganismos presentes retornam seu crescimento convencional (Wilkinson e Davies, 2013).

FIGURA 3 – Estabilidade aeróbica das silagens de milho com diferentes vedações.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

3.3 Avaliação Nutricional da Silagem

Teores de matéria seca são considerados ideais para a ocorrência de fermentação láctica se estiverem na faixa entre 28 a 37% (Lavezzo, 1981; Ferrari; Lavezzo, 2001; Sampaio *et al.*, 2001). A Tabela 4 aponta os teores de massa seca para os diferentes tipos de vedações utilizadas nos silos experimentais. No momento do enchimento do silo, a massa seca da forragem ensilada foi de 30,04%. Assim, observou-se um leve aumento para todos os filmes e para a lona comercial após 45 dias. Dentre as vedações utilizadas, o filme de BPEAD e LONA apresentaram percentual de massa seca de aproximadamente 30%, enquanto os filmes N31, N32, N61 e N62 ficaram na faixa de 31%.

No organismo do animal, os minerais estão envolvidos com muitas reações metabólicas e desempenham funções importantes tanto para manutenção da vida, quanto para reprodução. Os teores de massa mineral considerados

adequados para uma boa silagem variam entre 3,7 a 7,1% e, para massa orgânica, entre 92,9 a 96,4% (Carvalho *et al.*, 2021; Neumann *et al.*, 2007).

A Tabela 4 apresenta os valores de matéria mineral (MM), e de matéria orgânica (MO) para as vedações com os filmes e a lona. Verificou-se que os valores de MM ficaram em torno de 4 a 5% e os de MO entre 94 a 95%, estando em conformidade com as literaturas consultadas (Carvalho *et al.*, 2021, Neumann *et al.*, 2007).

A proteína é um constituinte importante a ser analisado para qualidade nutricional da silagem, logo é relevante conhecer o nível proteico que pode variar de 6 a 9% com média ao redor de 7 a 7,5% (Cruz *et al.*, 2011). Segundo Van Soest (1994), para o bom funcionamento ruminal é desejável teores de PB próximos a 7%.

A Tabela 4 apresentou os teores de proteína bruta (PB) das silagens vedadas com filmes e a lona, sendo observado que a proteína se manteve na faixa de 7% para todas as amostras. Carvalho *et al.* (2021) adaptado de Campos *et al.*, (2010) apontaram para silagem de milho valor de proteína bruta igual a 7,06%.

A fração lipídica das silagens foi avaliada no intuito de obter informações sobre a quantidade de ácidos graxos presentes em pelo menos metade dessa entidade nutricional. Os teores médios relatados de extrato etéreo variam de 1,5% a 4,8% (Mizubuti *et al.*, 2022; Evangelista; Lima, 2001; Fernandes *et al.*, 2008).

As porcentagens de extrato etéreo (EE) presentes nas silagens de milho utilizando os filmes e a lona como vedação não variaram significativamente entre as amostras, apresentando média de 1,36%. Evangelista e Lima (2001), avaliando forragens de milho conservadas relataram teores médios de extrato etéreo de 1,5%. Fernandes (2008) encontraram teores em torno de 2,2%.

Os valores de carboidratos totais obtidos correspondem aos percentuais relatados por Van Soest (1994), constituindo de 50 a 80% da matéria seca das plantas forrageiras. Valadares Filho *et al.*, (2006) reportaram valores médios de carboidratos totais de 84,8% referente a avaliação feita em 96 amostras de silagem de milho com desvio padrão de 2,1. Os teores observados de CT para as silagens foram próximos, as silagens vedadas com BPEAD, N31, N61 e N62 obtiveram cerca de 86% de CT, enquanto N32 ficou com 85% e LONA com 87% conforme os dados da Tabela 4.

TABELA 4 – Composição químico-bromatológica da silagem, após 45 dias.

Vedações	%MS	%MM	%MO	%PB	%EE	%CT
BPEAD	30,78±0,46	4,29±0,18	95,21±0,20	7,52±0,09	1,29±0,31	86,88±0,55
N31	31,90±0,32	4,58±0,15	94,89±0,17	7,41±0,06	1,13±0,28	86,86±0,53
N32	31,14±0,38	5,17±0,10	94,22±0,12	7,24±0,07	1,87±0,30	85,69±0,49
N61	31,74±0,25	4,47±0,13	95,00±0,21	7,52±0,09	1,54±0,25	86,44±0,45
N62	31,86±0,41	4,55±0,14	94,92±0,20	7,45±0,04	1,33±0,34	86,65±0,61
LONA	30,23±0,35	4,33±0,17	95,16±0,24	7,54±0,06	1,04±0,32	87,00±0,31

MS: Massa Seca, MM: Massa Mineral, MO: Matéria Orgânica, PB: Proteína, EE: Extrato Etéreo, CT: Carboidratos Totais. Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

De acordo com os dados obtidos, observa-se que os filmes produzidos e a lona obtiveram valores nutricionais muito próximos e dentro dos padrões de qualidade estabelecidos na literatura mencionada acima. Comparando as composições dos filmes produzidos, tem-se em vista que a adição da argila e do aditivo antimicrobiano não gerou grandes modificações na silagem em comparação com o BPEAD e a lona, o que é positivo para a aplicação pretendida e observa-se a necessidade de aprimorar a capacidade de barreira que pode ser promovida com a adição da argila ao filme de BPEAD.

4 Considerações Finais

Após a análise das características químico-fermentativas das silagens vedadas com filmes nanocompósitos e com lona comercial, observou-se perda por deterioração de 15 a 20%. As densidades dos silos apresentaram média de 420 kg/m³, observando que o silo vedado com N62 e N61 obtiveram menores densidades, justificando as maiores perdas por deterioração. Quanto às perdas por gases e efluente, o silo vedado com N62 obteve a maior geração e os demais filmes (N31, N32 e N61) ficaram com valores próximos ao silo vedado com a lona. A avaliação sensorial revelou aspectos muito semelhantes, tais como cor amarela ou verde-claro, cheiro avinagrado, mas agradável e textura firme, o que demonstrou boa conservação. Os pH das silagens, em média, marcaram acidez de 3,73, sendo que o silo vedado com BPEAD apresentou o menor pH (3,65) enquanto o que foi vedado com a lona o maior (3,83). A temperatura das silagens após abertura do silo não ultrapassou 26 °C, propiciando boa estabilidade aeróbica. Dentre as vedações utilizadas, o filme de BPEAD e LONA apresentaram percentual de massa seca de 30% aproximadamente, enquanto os filmes N31, N32, N61 e N62 ficaram na faixa de 31%. Os teores de massa mineral e massa orgânica foram considerados adequados, assim como a proteína bruta que se manteve na faixa de 7% para todas as amostras. O teor de EE não variou significativamente, apresentando média de 1,36% e os carboidratos totais para as silagens vedadas com BPEAD, N31, N61 e N62 foram de 86%, enquanto N32 ficou com 85% e LONA com 87%. Todos os parâmetros bromatológicos analisados ficaram dentro das faixas requeridas, demonstrando a possibilidade de utilização tanto dos filmes nanocompósitos produzidos quanto da lona comercial.

Referências

ARAÚJO, A. R. A. *et al.* Desenvolvimento de filmes de nanocompósitos polipropileno/argila organofílica para embalagens. **Polímeros**, v. 22, n. 3, p. 238–244, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/po/a/dyG7VTwwWzTTjXHQgkL366J/?lang=pt> Acesso em: 30 out. 2023.

ASHBELL, G. *et al.* The effects of temperature on the aerobic stability of wheat and corn silages. **Journal Industrial Microbiology and Biotechnology**, v. 28, p. 261 - 263, 2002.

Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis**. 16. ed. Gaithersburg: AOAC International, 2002.

Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis**. 18. ed. Gaithersburg: AOAC International, 2005.

BERNARDES, T. F. *et al.* *Silage review*: unique challenges of silages made in hot and cold regions. **Journal of Dairy Science**, v. 101, p. 4001-4019, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030218303230?via%3Dihub>. Acesso em: 30 out. 2023.

BERNARDES, T. F.; ADESOGAN, A. T. Aerobic deterioration of silages in warm climates. *In*: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO ESTRATÉGICO DE PASTAGEM, 4., 2012, Viçosa. **Anais [...]**. Viçosa: UFV, 2012.

BORREANI, G. *et al.* Aerobic deterioration stimulates outgrowth of spore-forming *Paenibacillus* in corn silage stored under oxygen-barrier or polyethylene films. **Journal Dairy Science**, v. 96, n. 8, p. 5206–5216, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002203021300444X?via%3Dihub>. Acesso em: 30 out. 2023.

BORREANI, G.; BERNARDES, T. F.; TABACCO, E. Aerobic deterioration influences the fermentative, microbiological and nutritional quality of maize and sorghum silages on farm in high quality milk and cheese production chains. **Revista brasileira de Zootecnia**, v. 37, p. 68 - 77, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbz/a/ddJBcrDDhRgLHRPG4nhY86S/?lang=en>. Acesso em: 30 out. 2023.

BORREANI, G.; TABACCO, E. Low permeability to oxygen of a new barrier film prevents butyric acid bacteria spore formation in farm corn silage. **Journal of Dairy Science**, v. 91, p. 4272 - 4281, 2008.

BORREANI, G.; TABACCO, E.; CAVALLARIN, L. A new oxygen barrier film reduces aerobic deterioration in farm-scale corn silage. **Journal of Dairy Science**, v. 90, p. 4701 - 4706, 2007.

CAMPOS, P. R. S. S. *et al.* Consumo, digestibilidade e estimativa do valor energético de alguns volumosos por meio da composição química. **Revista Ceres**, v. 57, p. 79-86, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbz/a/ddJBcrDDhRgLHRPG4nhY86S/?lang=en>. Acesso em: 30 out. 2023.

CARVALHO, C. B. M. *et al.* Methods of analysis of the chemical composition and nutritional value of ruminant feeds. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 10, E523101019047,

2021. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rhttps://www.scielo.br/j/rbz/a/ddJBcrDDhRgLRPG4nhY86S/?lang=ensd/article/view/19047>. Acesso em 30 out. 2023.

CECCHI, H. M. **Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos**. 2 ed. Campinas, SP: UNICAMP, 2003.

CRISTO, F. B. Effect of different double-sided plastic films on chemical and fermentation characteristics of corn silage. **Animal Science**, v. 22, E-66770, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cab/a/ZJ7Z35T7RSfBSf8j38dhsNn/?lang=en#>. Acesso em 30 out. 2023.

CRUZ, J. C. *et al.* **Produção e utilização de silagem de milho e sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2011.

DRIEHUIS, F.; OUDE ELFERINK, W. H.; VAN WIKSELAAR, P. G. Fermentation characteristics and aerobic stability of grass silage inoculant with lactobacillus buchneri, with or without mofermentative lactic acid bacteria. **Grass and Forage Science**, v. 56, p. 330 - 343, 2001.

EVANGELISTA, A. R.; LIMA, J. A. Utilização de silagem de girassol na alimentação animal. In: SIMPÓSIO SOBRE PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE FORRAGENS CONSERVADAS, 1., 2001, Maringá. **Anais [...]**. Maringá: UEM, 2001.

FERNANDES, L. O. Avaliação de cultivares de milho e sorgo para a produção de silagem: desempenho animal, produção animal, produção e composição química da matéria seca. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 45., 2008, Lavras. **Anais [...]**. Lavras: SBZ, 2008.

FERRARI JUNIOR, E.; LAVEZZO, W. Qualidade da silagem de capim-elefante (*Pennisetum purpureum Schum.*) emurcheado ou acrescido de farelo de mandioca. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, n. 5, p. 1424-1431, 2001. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbz/a/GxZwrJ4bgHQXB5dxk9wC6Cy/> Acesso em: 25 mar. 2024.

FRANÇA, A. F. S. *et al.* Características fermentativas da silagem de híbridos de sorgo sob doses de nitrogênio. **Ciência Animal Brasileira**, v. 12, n. 3, p. 383-391, 2011.

IGARASI, M.S. **Controle de perdas na ensilagem de capim tanzânia (*Panicum maximum* Jacq. Cv. Tanzânia) sob efeitos do teor de matéria seca, do tamanho de partícula, da estação do ano e da presença de inoculante bacteriano**. 2002. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

JOBIM, C.C. *et al.* Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, Suplemento Especial, p. 101-119, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbz/a/cGcwzhYPxNb5mwmw9SJgZgm/?lang=pt>. Acesso em: 30 out. 2023.

LAVEZZO, W. **Efeito de diferentes métodos de tratamento, sobre a composição química e valor nutritivo das silagens de capim-elefante (*Pennisetum purpureum Schum*)**. 1981. Tese (Doutorado em Medicina Veterinária e Zootecnia) – Universidade do Estado de São Paulo, Botucatu, 1981.

MCDONALD, P.; HENDERSON, A. R.; HERON, S. J. E. **The biochemistry of silage**. Marlow: Chalcombe Publications, 1991.

MESQUITA, P. J.; ALVES, T. S.; BARBOSA, R. Development and characterization of green polyethylene/clay/antimicrobial additive nanocomposites. **Polímeros**, v. 32, n. 2, p. 1-8, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/po/a/3YZR3FdNgmy6VKSRLJ6SDgK/?lang=en>. Acesso em 30 out. 2023.

MEYER, H.; BRONSCH, K.; LIEBETSEDER, J. **Supplemente zu Vorlesungen und bungen in der Tierernhrung**. Hannover: Verlag M. e H. Schaper, 1989.

MIZUBUTI, I. Y. *et al.* Consumo e digestibilidade aparente das silagens de milho (*Zea mays* L.), sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) e girassol (*Helianthus annuus* L.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 1, p. 267-272, 2002.

MORALES, A. R. *et al.* Nanocompósitos de PEAD/PEBDL: avaliação da esfoliação da argila organofílica pela aplicação do modelo de Nielsen e das propriedades mecânicas, ópticas e permeabilidade. **Polímeros**, v. 20, n. 1, p. 39-45, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/po/a/YxmZQYXMSv946ytRnjXTqpK/?lang=pt>. Acesso em: 30 out. 2023.

MUCK, R.E.; HOLMES, B.J.; Factors affecting bunker silos densities. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 16, n. 6, p. 613-619, 2000.

NEUMANN, M. *et al.* Sealing type effect on corn silage quality in bunker silos. **Ciência Rural**, v. 47, n. 5, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/po/a/YxmZQYXMSv946ytRnjXTqpK/?lang=pt>. Acesso em: 30 out. 2023.

NUSSIO, L. G. Cultura do milho para produção de silagem de alto valor alimentício. *In*: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE BOVINOS, 4., 1991. Piracicaba. **Anais [...]**. Piracicaba: Fealq, 1991.

OLIVEIRA, C.A.; MILLEN D.D. Survey of the nutritional recommendations and management practices adopted by feedlot cattle nutritionists in Brazil. **Animal Feed Science**, v. 197, p. 64-75, 2014.

SALMAN, A. K. D. *et al.* **Metodologias para avaliação de alimentos para ruminantes domésticos**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2010. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/884369/1/doc136alimentacaoderuminantes.pdf> Acesso em 30 out. 2023.

SAMPAIO, I. B. M. *et al.* Efeito do estágio vegetativo do sorgo (*Sorghum bicolor*, (L.) Moench) sobre a composição química da silagem, consumo, produção e teor de gordura do leite para vacas em lactação, em comparação à silagem de milho (*Zea Mays* (L.)). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, n. 6, p. 2086 - 2092, 2001.

SAVOIE, P.; JOFRIET, J.C. Silage storage. *In*: BUXTON, D.R., MUCK, R.E., HARRISON, J.H. (Eds.). **Silage Science and Technology**. Madison: American Society of Agronomy, 2003, p. 405 - 467.

SCHELER, E. D.; CAVICHIOLI, F. A. Viabilidade de silagem de milho para gado leiteiro. **Interface Tecnológica**, v. 18, n. 1, p. 265-275, 2021. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/1095> Acesso em: 25 mar. 2024.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. **Análise de alimentos, métodos químicos e biológicos**. Viçosa: UFV, 2006.

SILVA, M. S. J. D. *et al.* Production technology and quality of corn silage for feeding dairy cattle in southern brazil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 44, n. 9, p. 303 - 313, 2015.

SNIFFEN, C.J.; O'CONNOR, J.D.; VAN SOEST, P.J. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: carbohydrate and protein availability. **Journal of Animal Science**, v. 70, p. 3562-3577, 1992.

VALADARES FILHO, S. C. *et al.* **Tabelas brasileiras de composição de alimentos para bovinos**. 2. ed. Viçosa: Suprema Gráfica Ltda, 2006.

VAN SOEST, P. J. **Nutritional ecology of the ruminants**. 2.ed. Editora Comstock, 1994.

WEINBERG, Z. G.; ASHBELL, G. Engineering aspects of ensiling. **Biochemical Engineering Journal**, v. 13, n (2-3), p. 181-188, 2003.

WILKINSON, J. M.; DAVIES, D.R. The aerobic stability of silage: key findings and recent developments. **Grass and forage science**, v. 68, n. 1, p. 1-19, 2013.