



Efeito de diferentes filmes plásticos dupla face sobre características químico-fermentativas da silagem de milho

Effect of different double-sided plastic films on chemical and fermentation characteristics of corn silage

Fernando Braga Cristo^{1*} , Mikael Neumann¹ , Fernando de Souza Sidor¹ , Maria Eduarda Cozegen Seller¹ , Daniel Corrêa Plodoviski¹ , Everton Luiz Carneiro¹ , Paulo Victor Pinheiro Cesar¹ , Leticia Santos Savoldi¹ , Luísa da Costa¹

¹Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, PR, Brasil

*Correspondente - fernandobragacristo@gmail.com

Resumo

O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência de diferentes filmes plásticos dupla face sobre as características quimiofermentativas, digestibilidade da matéria seca, estabilidade aeróbica, perdas físicas e de matéria seca de silagens de milho armazenadas em silos trincheira. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, compostos por três tratamentos: DF110 μ m - polietileno dupla face com espessura de 110 μ m; DF200 μ m - polietileno dupla face com espessura de 200 μ m; e DFBO - película impermeável ao oxigênio composta de polietileno dupla face com espessura de 80 μ m sobreposta a uma película de poliamida translúcida a vácuo com espessura de 20 μ m. O uso do filme DF200 μ m aumentou em 4,58% a digestibilidade ruminal da matéria seca e reduziu em 3,1 °C a temperatura da silagem, assim como as perdas físicas da silagem de milho foram reduzidas em 118,9 g kg⁻¹ da MS pela utilização do DFBO e 95 g kg⁻¹ da MS com o DF200 μ m, o DFBO apresentou a maior estabilidade aeróbica (127 horas) da silagem de milho. O uso de filme DF200 μ m e DFBO é recomendado para conservação de silagem de milho em silos do tipo trincheira.

Palavras-chave: Barreira de oxigênio. Digestibilidade da matéria seca. Estabilidade aeróbica. Perdas de matéria seca. Poliamida.

Abstract

The objective of this work was to evaluate the efficiency of different double plastic films on the chemofermentative characteristics, dry matter digestibility, aerobic stability, physical and dry matter losses of corn silages stored in trench silos sealed with different double face plastic films. The experimental design used was completely randomized, composed by three treatments: DF110 μ m - double face polyethylene with a thickness of 110 μ m; DF200 μ m - double face polyethylene with a thickness of 200 μ m; and DFBO - oxygen impermeable film composed of double face polyethylene with a thickness of 80 μ m superimposed on a vacuum translucent polyamide film with a thickness of 20 μ m. The use of DF200 μ m

Recebido
24 de novembro de 2020.
Aceito
12 de abril de 2021.
Publicado
23 de julho de 2021.

www.revistas.ufg.br/vet
Como citar - disponível no
site, na página do artigo.

film increased by 4.58% the ruminal digestibility of dry matter and reduced the silage temperature by 3.16 °C. The physical losses of corn silage were reduced by 118.9 g kg⁻¹ of MS by the use of DFBO and 95 g kg⁻¹ of MS with DF200µm, the DFBO showed the highest aerobic stability (127 hours) of corn silage. The use of film DF200µm and DFBO is recommended for conservation of corn silage in trench type silos.

Keywords: Oxygen barrier. Dry matter digestibility. Aerobic stability. Dry matter losses. Polyamide.

Introdução

A silagem de milho é o volumoso mais utilizado para alimentação de bovinos confinados, devido ao ótimo potencial produtivo de matéria seca e valor nutritivo⁽¹⁾. No entanto, o processo de ensilagem exige condições específicas para uma correta fermentação e conservação dessa forragem, principalmente na obtenção de um ambiente anaeróbio no silo de armazenamento⁽²⁾.

A obtenção da anaerobiose no interior do silo é dependente de inúmeros fatores⁽³⁾, sendo que a vedação e a escolha do filme plástico utilizado no silo estão intimamente ligadas à qualidade bromatológica e digestibilidade da silagem resultante, impactando diretamente no aproveitamento e desempenho dos animais^(4, 5, 6, 7).

Utilizar filmes plásticos à base de polietileno para vedar silos foi considerado um grande marco na produção de alimentos conservados, permitindo isolar o alimento depositado no silo das variações de temperatura, chuva e do oxigênio⁽⁴⁾. Os filmes plásticos de qualidade devem ser impermeáveis ao oxigênio e à água, possuir boa capacidade de isolamento, ser resistente e com alta durabilidade, atributos indispensáveis na vedação⁽⁸⁾.

No entanto, o uso isolado do polietileno é incapaz de barrar totalmente o oxigênio, fato que pode gerar alterações durante o processo de fermentação e conservação da silagem, resultando em deterioração aeróbica que acarreta perdas significativas⁽⁹⁾. Buscando sanar essa problemática, a combinação entre polímeros plásticos como a poliamida com o polietileno, por meio do processo de extrusão, tornou-se uma alternativa, pois combina a capacidade de barreira da poliamida à boa resistência mecânica do polietileno⁽³⁾.

Mensurar as perdas geradas pela ineficiência no sistema de vedação se tornou indispensável para alcançar sucesso em sistemas produtivos, nos quais se utiliza a silagem como principal volumoso, porém há poucos trabalhos que investigam a influência do tipo de vedação em sistemas produtivos de corte no Brasil.

Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência da vedação com diferentes filmes plásticos dupla face sobre as características quimiofermentativas, digestibilidade da matéria seca, estabilidade aeróbica, perdas físicas e de matéria seca de silagens de milho armazenadas em silos trincheira.

Material e métodos

Todos os procedimentos experimentais foram previamente submetidos à apreciação do Comitê de Conduta Ética no Uso de Animais em Experimentação (CEUA), da UNICENTRO, tendo sido aprovados para execução (Ofício n° 021/2018).

O experimento foi realizado no Núcleo de Produção Animal da Universidade Estadual do Centro-Oeste, na cidade de Guarapuava-PR, com clima da região, conforme classificação de Köppen, do tipo subtropical mesotérmico úmido (Cfb), sem estação seca, com verões frescos e inverno moderado, em altitude aproximada de 1.100 m, com precipitação média anual de 1.944 mm, temperatura média mínima anual de 12,7° C e média máxima anual de 23,5° C com umidade relativa do ar de 77,9%.

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Bruno Típico⁽¹⁰⁾, e a área de cultivo do milho vem sendo utilizada nos últimos anos com pastagens de ciclo anual na estação de inverno e lavouras de milho na estação de verão, recebendo, a cada estação de cultivo, adubações com nitrogênio, fósforo e potássio, conforme as recomendações da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo⁽¹¹⁾.

A lavoura de milho (*Zea mays*, L.) foi implantada em 02/11/2017, utilizando sementes do híbrido Maximus Viptera 3 (Syngenta®), de ciclo precoce, com finalidade de produzir grãos e silagem, tendo os grãos textura dura e biotecnologia de resistência à *Glyphosate*. A semeadura foi em sistema de plantio direto, utilizando-se espaçamento entre linhas de 0,80 m, profundidade de semeadura de 0,04 m e distribuição de 5 sementes por metro linear, visando população final de 62.500 mil plantas ha⁻¹.

A adubação de base utilizada foi de 500 kg ha⁻¹ com o fertilizante 12-31-17 (N-P-K) e a adubação em cobertura com 500 kg ha⁻¹ com o fertilizante Nitrosulfocálcio fórmula 27-00-00 + S, que possui em sua composição os nutrientes (27% N, 5% Ca, 3,7% S), sendo o produto comercial Yara Bela Plus®. O manejo anterior à implantação da cultura do milho se baseou no controle de plantas indesejáveis e insetos pelo método químico, utilizando o herbicida a base de *Glyphosate* (produto comercial Roundup WG®: 2 kg ha⁻¹), *Imidacloprido* + *Beta-ciflutrina* (produto comercial Connect®: 0,75 L ha⁻¹) e óleo mineral (produto comercial Nimbus®: 0,5 L ha⁻¹). Já no controle em pós-emergência, foi utilizado *Atrazine* + *Simazine* (produto comercial Primatop®: 3 L ha⁻¹), *Nicosulfuron* (produto comercial Nortox®: 0,7 L ha⁻¹) e *Alfa-cipermetrina* (produto comercial Imunit®: 0,18 L ha⁻¹), mediante laudo técnico da lavoura. A aplicação de inseticida se deu com *Thioacetimidate* 216 g L⁻¹ + *Metanol* 383,5 g L⁻¹ (produto comercial Bazuka® 216 SL dose de 0,60 L ha⁻¹).

Previamente à confecção da silagem, amostras da planta inteira e dos componentes estruturais: colmo, folhas, brácteas mais sabugo e grãos (material original), em fase reprodutiva R5 (fase de grão duro), foram obtidas de forma homogênea e representativa, pesadas e pré-secas em estufa de ar forçado a 55° C. Após 72 horas de secagem, foram pesadas novamente para determinação do teor de matéria seca (MS), conforme AOAC⁽¹²⁾. Tal procedimento permitiu estimar o potencial produtivo de produção de biomassa verde (kg ha⁻¹) e de matéria seca ensilável (kg ha⁻¹), assim como

a estrutura física da planta e os valores de matéria seca dela e de seus componentes estruturais para caracterização agrônômica da lavoura. Também foram determinadas a altura da inserção da primeira espiga, a altura da planta (m) e o número de folhas secas por planta (Tabela 1).

Tabela 1. Caracterização agrônômica da planta de milho no momento da ensilagem (Safrá 2017/2018)

Parâmetro	Valor médio
Produção de biomassa verde (kg ha ⁻¹)	63.953
Produção de biomassa seca (kg ha ⁻¹)	23.944
Altura de inserção da primeira espiga (m)	1,22
Altura de planta (m)	2,15
Número de folhas secas por planta	4,68
Teores de matéria seca (g kg⁻¹):t	
Colmo	201,70
Folhas	307,30
Brácteas	355,70
Sabugo	359,00
Grãos	651,30
Planta inteira	374,30
Planta sem grãos	262,10
Composição física da planta (g kg⁻¹):	
Colmo	153,40
Folhas	255,80
Brácteas	105,70
Sabugo	83,50
Grãos	506,40

A colheita das plantas de milho foi realizada aos 145 dias pós-emergência, em estágio fenológico de grão duro (R5), com auxílio de uma colhedora de forragens de precisão JF® modelo C-120 AT S2, com altura de corte de 20 cm e regulagem de tamanho médio de partícula com proporção de 2,5% na primeira peneira (>1,9 cm), 52,5% na segunda peneira (1,9-0,7 cm) e 44,0% na terceira peneira (<0,7 cm).

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, composto por três tratamentos: DF110µm - polietileno dupla face com espessura de 110 µm; DF200µm - polietileno dupla face com espessura de 200 µm; e DFBO - película impermeável ao oxigênio composta de polietileno dupla face com espessura de 80 µm sobreposta a uma película de poliamida translúcida a vácuo com espessura de 20 µm, com quatro repetições cada.

O DF110µm consistiu na utilização de filme plástico dupla face, composto de polietileno com 110 µm de espessura, Plus Agrolord®, da empresa Basso Pancote. O DF200µm consistiu na utilização de um filme plástico dupla face, de polietileno com espessura 200 µm, da empresa Carga Pesada®. Já para o DFBO, utilizou-se o filme plástico

Polydress® O₂Barrier 2IN1, da empresa RKW, que possui uma camada de 80 µm de um filme protetor composta de polietileno, sobreposta a uma camada de filme vácuo translúcido de poliamida com espessura de 20 µm que garante a impermeabilidade ao oxigênio.

A abertura dos silos ocorreu simultaneamente aos 75 dias após a ensilagem, o manejo no desabastecimento constou da retirada diária de 0,15 m e o período de desensilagem ocorreu por 100 dias. Os silos utilizados eram do tipo trincheira, sendo que cada silo constou de uma repetição, foram utilizados 12 silos trincheira com 15 metros de comprimento, 1,2 metros de altura e 1,2 metros de largura.

Para estimar as perdas de matéria seca, foram alocados 24 bags no interior dos silos experimentais durante a ensilagem conforme proposto por Neumann *et al.*⁽¹³⁾. Os bags foram distribuídos de acordo com cada tratamento e cada repetição. Eles foram preenchidos de forma homogênea com material original e peso conhecido. A designação de bags refere-se a um saco de náilon maleável 100% poliamida, com poros de 85 micrômetros, dimensões de 12 cm x 50 cm respectivamente de diâmetro e comprimento. Cada bag foi identificado, pesado individualmente vazio e, depois, novamente pesado após seu enchimento. Para vedar os bags, foram utilizados lacres do tipo braçadeira flexível de PVC. A massa específica final da silagem contida nos bags foi submetida ao mesmo procedimento de compactação que o material original contido nos silos, com auxílio de um trator, a fim de garantir a mesma compactação entre material original dos bags e do silo.

Mensurações de temperatura das silagens foram realizadas em 6 pontos da face de cada silo, sendo coletadas às 06:00, 12:00 e 16:00 horas, assim como a temperatura ambiente, com uso de termômetro digital de haste metálica, temporizador e amplitude de leitura corrente entre -50 a 250°C. As mensurações de temperatura na silagem foram realizadas na profundidade de 7 cm na massa estruturada na face dos silos. O gradiente de temperatura (GT) foi obtido pela diferença encontrada entre a temperatura do meio ambiente com a temperatura das silagens avaliadas. No mesmo período, leituras de pH também foram diariamente realizadas às 6:00 horas, por meio do uso de potenciômetro digital de bancada, de acordo com a metodologia estabelecida por Cherney e Cherney⁽¹⁴⁾.

As perdas físicas da silagem foram estimadas diariamente durante o período experimental, por meio da pesagem da silagem considerada visivelmente deteriorada no momento do desabastecimento do silo que foi posteriormente descartada. Os valores obtidos foram corrigidos para os teores de matéria seca semanal.

Duas vezes por semana durante o período de avaliação, amostras homogêneas de silagem do painel dos silos foram coletadas, pesadas e pré-secas em estufa de ar forçado a 55°C até obtenção de peso constante para determinação do teor parcial de matéria seca (MS), sendo sequencialmente moídas em moinho tipo "Wiley", com peneira de malha de 1 mm. Nas amostras moídas, foram determinados os teores de matéria seca total (MST) e de matéria mineral (MM) conforme Silva e Queiroz⁽¹⁵⁾.

Posteriormente, determinou-se a matéria seca total em estufa a 105°C por 4 horas, a

proteína bruta (PB) pelo método micro Kjeldahl e a matéria mineral (MM) por incineração a 550°C durante 4 horas conforme técnicas descritas em AOAC⁽¹²⁾. Os teores da fibra em detergente neutro (FDN) foram obtidos conforme método de Van Soest *et al.*⁽¹⁶⁾ com α -amilase termoestável e os teores da fibra em detergente ácido (FDA) e de lignina (LIG), segundo Goering & Van Soest⁽¹⁷⁾. Os teores de nutrientes digestíveis totais (NDT) foram calculados conforme equações propostas por Bolsen *et al.*⁽¹⁸⁾. Os teores de hemicelulose foram obtidos por diferença entre a FDN e FDA, assim como os teores de celulose foram obtidos da diferença entre FDA e lignina.

O valor relativo do alimento foi estimado por meio da equação $VRA = [(\%NDT \times CMSPV) / 1,29] \times 100$, sugerida por Bolsen *et al.*⁽¹⁸⁾. O consumo de matéria seca em porcentagem de peso vivo foi estimado via equação $(CMSPV, \% = 120 / FDN)$.

A digestibilidade ruminal da matéria seca e a taxa de desaparecimento ruminal da matéria seca das silagens foram estimadas pela técnica *in situ*, utilizando sacos de náilon medindo 12 cm x 8 cm e com poros de 40 a 60 μm , contendo 5 g de amostra seca de cada material, moído a 1 mm, para posterior incubação no rúmen⁽¹⁹⁾. Os tempos de incubação utilizados foram de 0, 6, 12, 24, 36, 48 e 168 horas. Para tal, foram utilizados dois novilhos, sendo estes alocados na Unidade Didática de Bovinocultura de Corte da Universidade Estadual do Centro-Oeste, os dois possuem 60 meses de idade, peso vivo médio de 650 kg, portadores de cânula ruminal que foi implantada pela técnica de ruminostomia, previamente aprovada pelo Comitê de Conduta Ética no Uso de Animais em Experimentação (CEUA/UNICENTRO), sob o ofício nº 030/2014.

A determinação do perfil fermentativo foi realizada conforme metodologia descrita por Price⁽²⁰⁾. A concentração do ácido acético nas amostras foi determinada por cromatografia gasosa, utilizando um cromatógrafo Shimadzu® GC-2010 Plus equipado com injetor automático AOC-20i, coluna capilar Stabilwax-DA™ (30 m, 0,25 mm ID, 0,25 μm df, Restek®) e detector de ionização de chama (FID), após acidificação delas com 1 M de ácido fosfórico p.a. (Ref. 100573, Merck®) e fortificação com o padrão WSFA-2 (Ref. 47056, Supelco®). A amostra coletada da silagem de cada tipo de vedação foi de 15 g, as quais foram homogeneizadas por meio de um liquidificador com 200 mL de água destilada. Após a homogeneização de um minuto, a amostra foi peneirada e centrifugada, sendo retirada dela o volume de 1 μL . Nessa amostra, foi injetada com taxa de split de 40:1, utilizando hélio como gás de arraste à velocidade linear de 42 $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$, obtendo-se a separação dos analitos em uma corrida cromatográfica de 11,5 minutos. As temperaturas do injetor e do detector foram, respectivamente, 250°C e 300°C, e a temperatura inicial da coluna de 40°C. A rampa de temperatura da coluna se iniciou com um gradiente de 40 até 120°C à taxa de 40°C min^{-1} , seguido de um gradiente de 120 até 180°C à taxa de 10°C min^{-1} e de 180 a 240 °C à taxa de 120°C min^{-1} , mantendo-se a temperatura a 240°C por mais 3 minutos ao final. Para a quantificação dos analitos, uma calibração do método foi feita com diluições do padrão WSFA-2 (Ref. 47056, Supelco®) de ácido acético glacial (Ref. 33209, Sigma-Aldrich®) e de etanol grau HPLC (Ref. 459828, Sigma-Aldrich®) analisadas sob as condições descritas acima. A detecção e a integração dos picos foram feitas utilizando-se o software GCsolution v. 2.42.00 (Shimadzu®).

A avaliação de estabilidade aeróbia foi realizada por meio de mensuração de temperatura e de pH. Em cada silo, a silagem foi descompactada para facilitar a exposição do material ensilado ao ar, conforme descrito por Kung Jr. *et al.*⁽²¹⁾, e uma amostra de 400 g do material foi alocada em baldes com capacidade para 1 kg. A avaliação foi realizada 50 dias após a abertura do silo. Os baldes foram acondicionados em ambiente controlado, com temperatura programada para permanecer estável a 25°C, durante todo o tempo de avaliação. Para determinar a estabilidade aeróbia, diariamente (às 12 horas), foram realizadas leituras de temperatura e pH das silagens avaliadas. O tempo de avaliação foi mantido até 168 horas após o início da avaliação. A leitura da temperatura das silagens foi realizada utilizando um termômetro digital de haste longa modelo Gulterm 1001 inserido no centro da massa da silagem e as leituras de pH foram feitas por meio do uso de potenciômetro digital de bancada, de acordo com a metodologia estabelecida por Cherney e Cherney⁽¹⁴⁾. O critério para definição de quebra de estabilidade aeróbia foi considerado quando o pH aumentou em níveis acima de 0,5 unidades em até 168 horas de avaliação, conforme citado por Weinberg *et al.*⁽²²⁾. Para quebra de estabilidade, por temperatura, considerou-se como perda da estabilidade aeróbica quando a temperatura do material ensilado excedeu em 2°C a temperatura ambiente conforme metodologia de Taylor e Kung Junior⁽²³⁾.

Os dados coletados para cada variável foram submetidos à análise de variância com comparação das médias pelo teste de Tukey a 5% de significância, por intermédio do procedimento GLM do programa estatístico SAS⁽²⁴⁾. Utilizou-se o seguinte modelo estatístico: $Y_i = \mu + T_i + E_i$, em que: Y_i = critério de resposta; μ = média geral comum a todas as observações (constante); T_i = efeito do i -ésimo tratamento; e E_i = erro aleatório inerente a todas as observações.

Resultados e discussão

Na Tabela 2, estão representados os dados de composição química das silagens de milho armazenadas em silos trincheiras vedadas com diferentes filmes plásticos dupla face. A substituição do filme DF110µm pelos filmes DF200µm e DFBO não influenciou a composição bromatológica da silagem de milho avaliada. Em trabalhos similares realizados por Neumann *et al.*⁽⁶⁾ e Machado⁽²⁵⁾, que avaliaram a composição nutricional da silagem de milho coberta com diferentes filmes à base de polietileno e filmes barreira de oxigênio, também não foram observadas alterações na composição nutricional da silagem de milho.

A literatura estabelece que os filmes plásticos de polietileno são permeáveis ao oxigênio⁽³⁾ e, em elevadas temperaturas ambiente, sua permeabilidade é aumentada elevando a entrada de oxigênio no silo e potencializando as perdas de nutrientes presentes na silagem, piorando a qualidade nutricional do alimento, gerando variações nas quantidades de matéria seca e proteína bruta da silagem⁽²⁶⁾, porém as temperaturas amenas típicas da região onde o trabalho foi executado podem ter atenuado a penetração de oxigênio nos filmes que possuíam apenas polietileno na sua composição, não causando alterações nas características químicas da silagem.

O valor relativo do alimento diferiu estatisticamente ($P < 0,05$) conforme o tipo de vedação. A silagem proveniente da vedação com o filme DF200 μm apresentou o maior valor de VRA que diferiu em relação ao DF110 μm (152,5 e 149,5, respectivamente), enquanto para a silagem coberta com o DFBO o valor de VRA (151,2) não diferiu dos demais filmes plásticos.

Tabela 2. Composição química e valores médios de perdas de matéria seca de silagens de milho armazenada em silos trincheira vedados com diferentes filmes plásticos dupla face

Parâmetro*	Filmes Plásticos			Média	P	EPM
	DF110 μm	DF200 μm	DFBO			
MS (g kg ⁻¹)	420,7 a	426,1 a	415,5 a	420,8	0,1291	0,1761
MM (g kg MS ⁻¹)	23,1 a	23,2 a	24,0 a	23,4	0,6082	0,0393
PB (g kg MS ⁻¹)	67,7 a	67,9 a	72,6 a	69,4	0,2060	0,1128
FDN (g kg MS ⁻¹)	536,7 a	529,2 a	535,4 a	533,8	0,6100	0,3113
HEM (g kg MS ⁻¹)	236,3 a	235,5 a	244,2 a	238,7	0,3546	0,2488
FDA (g kg MS ⁻¹)	300,3 a	293,8 a	291,2 a	295,1	0,2710	0,2113
CEL (g kg MS ⁻¹)	248,5 a	243,5 a	239,9 a	244,0	0,2067	0,1733
LIG (g kg MS ⁻¹)	51,9 a	50,3 a	51,4 a	51,2	0,7767	0,0919
CMS (% PV)	2,24 a	2,27 a	2,24 a	2,25	0,5511	0,0124
NDT (g kg ⁻¹)	668,2 a	672,8 a	674,5 a	671,8	0,2667	0,1590
VRA (% da MS)	149,5 b	152,5 a	151,2 ab	151,1	0,0423	0,6499
PMS (% da MS)	6,82 a	6,60 a	7,29 a	6,90	0,8961	0,4109

* MS: matéria seca; MM: matéria mineral; PB: proteína bruta; FDN: fibra em detergente neutro; HEM: hemicelulose; FDA: fibra em detergente ácido; CEL: celulose; LIG: lignina; CMS: consumo de matéria seca; NDT: nutrientes digestíveis totais; VRA: valor relativo do alimento; PMS: perda de matéria seca. Médias, seguidas por letras minúsculas diferentes na linha, diferem entre si pelo Teste Tukey ($p < 0,05$).

A perda de matéria seca das silagens de milho (Tabela 2) não apresentou diferença estatística ($P > 0,05$) entre os filmes dupla face utilizados na vedação, resultado que diverge do esperado e relatado na literatura.

De acordo com Borreani e Tabacco⁽⁴⁾ e Neumann *et al.*⁽⁶⁾, a redução das perdas de matéria seca é atribuída à impermeabilidade do filme plástico ao oxigênio. Wilkinson e Fenlon⁽⁹⁾ relatam grande variação nas perdas de matéria seca em função do material utilizado para a vedação dos silos, além de destacarem a camada superior do silo e/ou regiões periféricas como as mais suscetíveis às perdas de MS, por conta da maior exposição ao oxigênio.

Bernardes *et al.*⁽²⁷⁾ relatam que filmes barreira de oxigênio com poliamida em sua composição reduziram 5,6 pontos percentuais a perda de MS em relação a vedação com filme à base de polietileno. Enquanto Machado⁽²⁵⁾ encontrou redução de 1,76 vezes para comparação semelhante.

Neumann *et al.*⁽⁶⁾ relatam perdas de 14,36% para silagem coberta com filme de polietileno e de 11,21% de perdas para silagem que utilizou na vedação filme com característica de barreira, além de demonstrarem a eficiência de recuperação da matéria seca com a utilização de filme barreira que foi 7,54 % maior na camada superior em comparação ao filme de polietileno, demonstrando a eficiência do filme plástico em barrar o oxigênio.

A taxa de desaparecimento ruminal da matéria seca representada na Figura 1 foi influenciada pelos diferentes filmes plásticos utilizados na vedação das silagens e apresentaram comportamento linear crescente conforme avanço dos tempos de incubação ruminal. Observa-se que os filmes DF200 μ m e DFBO propiciaram as maiores taxas de degradação inicial (33,99% e 33,68%, respectivamente) e degradação em 48 horas da silagem de milho (74,80% e 76,70%, respectivamente), destacando-se em relação à silagem armazenada com filme DF110 μ m.

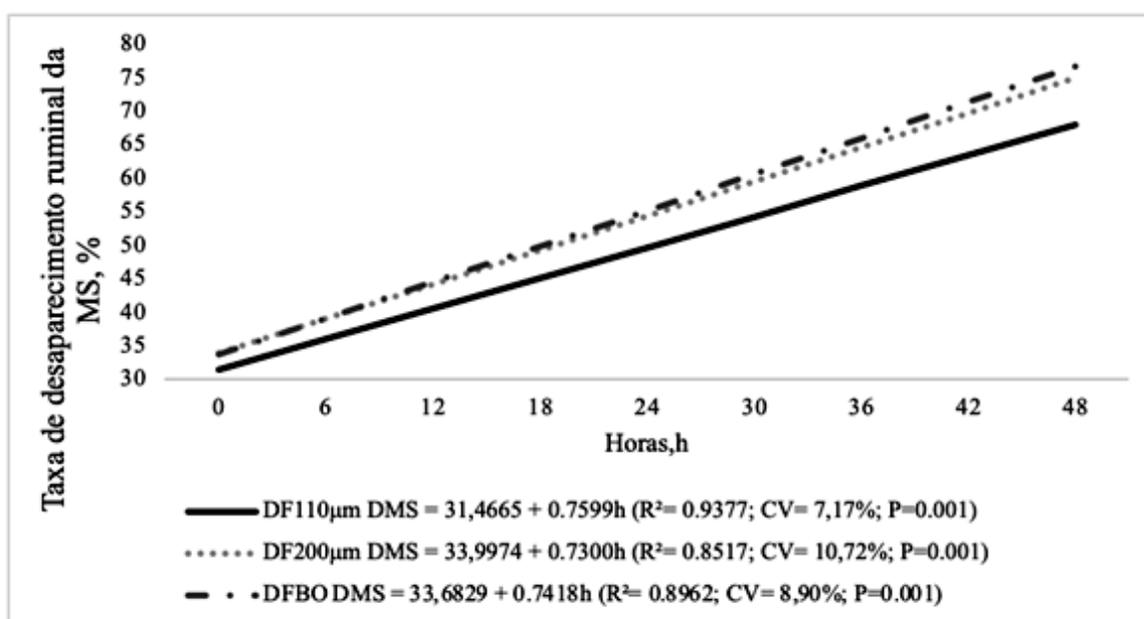


Figura 1. Taxa de desaparecimento ruminal *in situ* da matéria seca de silagens de milho armazenadas em silos trincheira vedadas com diferentes filmes plásticos dupla face.

O DF110 μ m apresentou a maior taxa (0,7599h⁻¹), enquanto as silagens vedadas com os filmes DF200 μ m e DFBO apresentaram valores próximos (0,7300h⁻¹ e 0,7418h⁻¹). Porém, em relação à porção solúvel representada na Figura 1 pela hora 0, a DF110 μ m apresentou a menor porção solúvel (31,4665) em comparação aos demais filmes avaliados, resultado que impacta o desaparecimento ruminal em 48 horas, pois apesar da DF110 μ m apresentar a maior taxa de desaparecimento ruminal hora⁻¹, a silagem com esta vedação obteve desaparecimento ruminal da matéria seca 11,43% inferior ao DFBO e 9,30% inferior ao DF200 μ m. Esses valores referendam a melhor capacidade desses

filmes plásticos em conservar as frações solúveis, devido ao rápido estabelecimento da condição de anaerobiose e queda do pH, cessando a quebra desses carboidratos por meio de processos fisiológicos pertinentes à planta e à atividade de microrganismos aeróbicos, somado à melhoria de digestibilidade da fibra^(8, 6).

A maior taxa de desaparecimento ruminal reflete de forma direta na redução de custos com alimentação devido ao melhor aproveitamento da silagem fornecida, colaborando para viabilizar a implementação do uso de filmes plásticos com maior custo agregado^(4,5).

O índice de pH das silagens de milho apresentado na Tabela 3 também sofreu influência conforme o tipo de filme utilizado na vedação dos silos ($P < 0,05$). O filme DF110 μ m resultou na obtenção da silagem com o maior ($P < 0,05$) índice de pH (4,12) em relação ao DF200 μ m (4,04) e DFBO (4,02), os quais não diferem entre si.

Tabela 3. Perfil fermentativo das silagens de milho armazenadas em silos trincheira vedadas com diferentes filmes plásticos dupla face

Parâmetro	Filmes Plásticos			Média	P	EPM
	DF110 μ m	DF200 μ m	DFBO			
	(g kg ⁻¹ de MS)					
pH, (índice)	4,12 a	4,04 b	4,02 b	4,06	0,0443	0,0148
Ácido Acético	4,75 a	4,40 a	5,10 a	4,75	0,7225	0,2102
Ácido Propanoico	0,48 a	0,49 a	0,53 a	0,50	0,8450	0,0295
Etanol	1,31 a	1,05 b	1,17 b	1,18	0,0416	0,0151

Médias na linha, seguidas por letras minúsculas diferentes, diferem entre si pelo Teste Tukey ($p < 0,05$).

Índices mais elevados de pH têm relação direta com o desenvolvimento de fungos filamentosos e leveduras que usam como substrato para seu desenvolvimento, principalmente o ácido láctico, resultando em aumento nos valores de pH e temperatura. Isso culmina na perda da estabilidade aeróbia, visto que esse ácido é o principal responsável pela diminuição do pH, que, na planta, no momento do corte, está em torno de valores próximos a 6 e deve ser reduzido a valores próximos de 4 para boa conservação da silagem^(28, 29, 9). A presença de oxigênio no silo é um dos principais fatores que desencadeiam o desenvolvimento desses microrganismos⁽²⁸⁾, e o filme plástico utilizado para vedar os silos pode se tornar a principal porta de entrada de oxigênio no material ensilado, reduzindo assim a concentração de gás carbônico no interior do silo e a eficiência de conservação da forragem^(4, 30).

Os diferentes filmes plásticos não promoveram alterações nos teores de ácido acético e ácido propanoico (Tabela 3). Os valores de ácido acético dentro da concentração típica para esse ácido é em torno de 4 g kg⁻¹ MS⁽³¹⁾. Porém, para Kung Junior *et al.*⁽³²⁾, os valores para o ácido acético da silagem de milho são em torno de 1 a 3 g kg⁻¹ MS. Os valores recomendados pelos autores são inferiores aos obtidos no presente estudo. Ainda de acordo com Daniel *et al.*⁽²⁶⁾, valores em torno de 1 a 3 g kg⁻¹ MS

de ácido acético estão relacionados à resistência de deterioração aeróbica, porém valores acima de 4 g kg^{-1} MS podem ser prejudiciais, causando aumento na perda de nutrientes e redução de consumo de matéria seca.

A concentração de etanol variou de acordo com o filme plástico. O DF200 μm e a DFBO promoveram menores teores de etanol (1,05 e 1,17) em relação ao DF110 μm (1,31). Compostos orgânicos voláteis, como o etanol, são originados por meio da conversão de açúcares solúveis presentes na planta ensilada⁽³³⁾. Embora o etanol tenha concentração considerável de energia, a sua alta volatilidade pode acarretar perdas consideráveis de energia da silagem, pois esse composto é perdido para o ambiente antes mesmo do alimento ser ofertado aos animais, tornando a fermentação alcoólica indesejável⁽²⁸⁾. Portanto, pode-se considerar que a silagem em que se utilizou o filme DF110 μm apresentou perfil fermentativo menos desejável em relação aos demais filmes devido à maior concentração de etanol (Tabela 3), que pode ter sido formado pelo crescimento de leveduras, as quais geram a produção de etanol, para Kung Junior *et al.*⁽³²⁾, silagens com concentração de etanol próximo a 2% da MS podem apresentar baixa estabilidade aeróbica.

Segundo Yoshii *et al.*⁽³⁴⁾, parte do etanol que não é perdido para o ambiente e é ingerido pelo animal, é parcialmente oxidado em acetato por microrganismos do rúmen aumentando concomitantemente a produção de metano podendo diminuir a eficiência de utilização da energia⁽³⁵⁾. A presença de oxigênio no material ensilado devido às falhas na vedação ou retardo no fechamento do silo pode resultar em menores concentrações de ácidos graxos voláteis, indicando processo fermentativo menos intenso e refletindo no prolongamento da fase respiratória, devido à falta de anaerobiose, esgotando os substratos fermentáveis necessário para as bactérias ácido lácticas⁽³⁶⁾.

Pode-se sugerir que a maior concentração de etanol da silagem DF110 μm esteja relacionada com aumento da população de leveduras presentes na massa ensilada devido à baixa capacidade de barreira ao oxigênio do polietileno de 110 μm , e, como co-produto da fermentação desses microrganismos, ocorre a formação de etanol (Tabela 3), além do aumento de temperatura (Tabela 4). Outro fato que corrobora essa hipótese são os maiores valores de pH apresentados pela silagem DF110 μm (Tabela 3), pois esses microrganismos utilizam o ácido láctico que é o principal responsável pela manutenção do baixo pH⁽³⁷⁾.

Na Tabela 4, estão representados os valores médios de matéria seca, temperatura da silagem, gradiente de temperatura e das perdas físicas de matéria seca durante o período de uso das silagens de milho armazenadas em silos trincheiras vedadas com diferentes filmes plásticos dupla face.

Tabela 4. Valores médios de matéria seca, temperatura da silagem, gradiente de temperatura e das perdas físicas de matéria seca durante o período de uso das silagens de milho armazenadas em silos trincheira vedadas com diferentes filmes plásticos dupla face

Período de Avaliação	Filmes Plásticos			Média
	DF110µm	DF200µm	DFBO	
Matéria seca (%)				
0 a 28 dias	44,09	43,99	43,83	43,97 A
29 a 56 dias	43,36	44,15	42,58	43,36 A
57 a 84 dias	44,13	44,64	42,27	43,68 A
Média	43,86 a	44,26 a	42,89 b	
Temperatura (°C)				
0 a 28 dias	23,24	19,11	21,22	21,19 B
29 a 56 dias	24,59	20,48	22,16	22,41 B
57 a 84 dias	26,20	24,98	26,11	25,76 A
Média	24,68 a	21,52 b	23,16 ab	
Gradiente da temperatura (°C)				
0 a 28 dias	8,49	4,77	7,21	6,82 A
29 a 56 dias	8,38	4,27	5,95	6,20 A
57 a 84 dias	6,17	4,95	6,07	5,73 A
Média	7,68 a	4,66 b	6,41 ab	
Perdas físicas de silagem (g kg ⁻¹ da MS)				
0 a 28 dias	195,6	45,9	41,2	94,2 B
29 a 56 dias	195,6	59,8	111,0	122,1 A
57 a 84 dias	179,9	108,8	134,3	141,0 A
Média	190,4 a	71,5 b	95,4 b	

Médias, seguidas por letras minúsculas diferentes na linha ou por letras maiúsculas diferentes na coluna, diferem entre si pelo Teste Tukey ($p < 0,05$).

A vedação com o filme DFBO apresentou o menor ($P < 0,05$) teor de matéria seca (42,89%) em relação a DF200µm e a DF110µm (44,26% e 43,86%, respectivamente). Por sua vez, eles não diferiram entre si, porém não houve variação nos teores de matéria seca em função do período de avaliação.

A temperatura da silagem foi afetada pelo tipo do filme utilizado. O polietileno DF110µm resultou em temperatura superior em 3,16°C em comparação com o DF200µm (24,68°C e 21,52°C, respectivamente), sendo que o gradiente de temperatura também foi 3,02°C superior em relação ao DF200µm (7,68°C e 4,66°C, respectivamente). Amaral *et al.*⁽³⁷⁾ e Borreani *et al.*⁽³⁾ relatam que a utilização de filmes barreira de oxigênio possibilitam menores temperaturas da silagem em comparação àqueles filmes que apresentam apenas polietileno em sua composição principalmente em baixas espessuras, diferentemente do encontrado no presente estudo, no qual a utilização do filme barreira não apresentou diferença estatística para temperatura e gradiente de temperatura (23,16°C e 6,41°C, respectivamente) em comparação aos filmes compostos

exclusivamente com polietileno em diferentes espessuras.

A temperatura também variou conforme o período de avaliação, sendo que o primeiro e o segundo período (21,19°C e 22,41°C, respectivamente) apresentaram médias de temperatura inferiores às do terceiro período (25,76°C).

O aumento na temperatura da silagem está ligado à atividade microbiana da massa ensilada, pois a alta taxa de multiplicação e crescimento desses microrganismos resulta na produção de calor, elevando a temperatura da silagem e quebrando a estabilidade aeróbia, reduzindo o seu potencial de conservação⁽³⁸⁾.

As perdas físicas da silagem de milho variaram conforme o tipo de filme plástico utilizado na vedação, sendo que a silagem vedada com o DF110µm apresentou as maiores perdas físicas (190,4 g kg⁻¹ da MS) e perdeu 118,9 g kg⁻¹ da MS a mais em comparação com a DFBO e 95 g kg⁻¹ da MS a mais em relação ao DF110µm e ao DF200µm. Por sua vez, as perdas físicas das silagens não difeririam (P>0,05) para o uso dos filmes DFBO e DF200µm.

As perdas físicas também variaram conforme o período de avaliação, de forma que no primeiro período de avaliação ocorreram as menores perdas físicas (9,42 g kg⁻¹ da MS) e com o avançar dos períodos experimentais houve aumento das perdas (12,21 g kg⁻¹ da MS e 14,10 g kg⁻¹ da MS, respectivamente para o segundo e terceiro período), evidenciando que, conforme o aumento dos dias, após abertura do silo e exposição ao oxigênio, houve incremento nas perdas.

Wang *et al.*⁽³⁹⁾ compararam filmes plásticos compostos exclusivamente de polietileno a filmes barreira de oxigênio e constataram que a silagem vedada com o filme de polietileno perdeu 6,2 unidades percentuais a mais de matéria orgânica em comparação a vedação com filme impermeável. Além disso, ainda segundo os autores, a utilização do filme barreira trouxe benefícios econômicos na ordem de US \$ 0,74 para cada tonelada da cultura ensilada.

Filmes plásticos com baixa capacidade de barreira ao oxigênio e à água estimulam o crescimento de microrganismos indesejáveis e favorecem a deterioração da silagem, porém, anteriormente ao aparecimento da deterioração visível, a silagem já sofreu diversas alterações como aumento de temperatura, aumento de pH, aumento das perdas de matéria seca, culminado com a redução da aceitação e consumo de matéria, reduzindo o desempenho produtivo⁽⁸⁾. Tabacco *et al.*⁽⁴⁰⁾ relatam que o aumento na temperatura da silagem por conta da atividade de microrganismos aeróbicos gera redução de até 16% do valor nutritivo da silagem. Também Hoffman e Combs⁽⁴¹⁾ afirmam que o aumento em aproximadamente 8°C na temperatura de 1 tonelada de silagem pode consumir 6,3 Mcal de energia, o que pode refletir na redução de 4 kg de leite para cada tonelada de silagem que apresenta elevadas temperaturas.

Pitt e Muck⁽⁴²⁾ ressaltam que é necessário respeitar a taxa diária de retirada do silo, sem perturbar o restante da silagem localizada no interior do silo, pois, quando o gerenciamento de retirada de silagem do silo é ignorado, associado à vedação falha, pode ocorrer aumento na penetração de oxigênio para o restante do silo, além de

contribuir para o aumento de descarte de silagem. O prejuízo por conta do descarte de silagem deteriorada pode chegar até quatro vezes mais que os custos de aquisição de filmes plásticos para a vedação dos silos, demonstrando que essa prática se torna viável e é indispensável para conservação apropriada da silagem.

Os teores de MS durante a avaliação da estabilidade aeróbica apresentaram crescimento linear conforme o tempo de avaliação (Figura 2). A silagem vedada com o filme DF110 μ m apresentou a maior taxa de perda de umidade (0,0232 pontos de MS hora⁻¹) em comparação à vedação com os filmes DF200 μ m (0,0223 pontos de MS hora⁻¹) e DFBO (0,0202 pontos de MS hora⁻¹).

A maior taxa de desidratação obtida pela silagem vedada com o filme DF110 μ m pode estar relacionada com o crescimento fúngico, pois, para que isso aconteça, necessita-se basicamente de fonte de nitrogênio, energia e oxigênio. Além desses requisitos, a umidade presente no material pode ser determinante para favorecer o crescimento fúngico inicialmente e, posteriormente, de bactérias oportunistas que são capazes de causarem efeitos deletérios na capacidade de conservação do alimento e prejudicar o aproveitamento e desempenho animal⁽³⁷⁾.

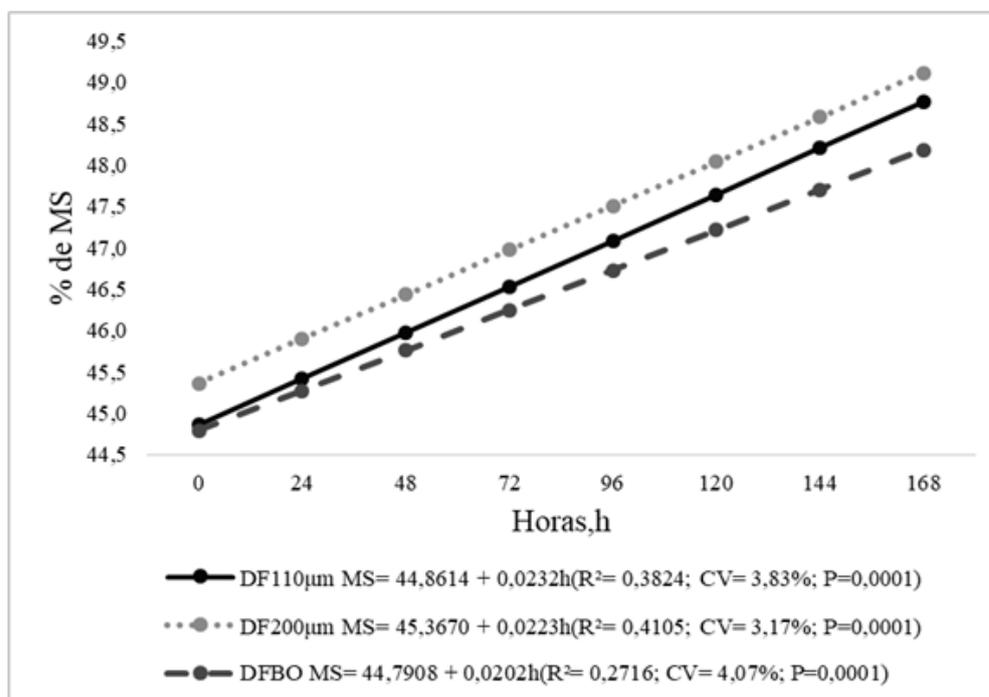


Figura 2. Teores de matéria seca durante a avaliação de estabilidade aeróbica das silagens de milho armazenadas em silos trincheira vedadas com diferentes filmes plásticos dupla face.

A temperatura da silagem durante o período de avaliação da estabilidade aeróbica apresentada na Figura 3A apresentou comportamento crescente linear para todos os filmes testados. As silagens provenientes das vedações com os filmes DF200 μm e DFBO apresentaram os maiores incrementos de temperatura (0,0292 $^{\circ}\text{C}$ hora $^{-1}$ e 0,0276 $^{\circ}\text{C}$ hora $^{-1}$) em comparação com o DF110 μm que apresentou o menor incremento de temperatura (0,0193 $^{\circ}\text{C}$ hora $^{-1}$). Comportamento esse que se repete para o índice de pH das silagens de milho (Figura 3B), pois houve aumento linear do índice de pH conforme o avanço dos dias de avaliação da estabilidade aeróbica. O maior incremento de pH em relação ao tempo em que compreendeu a avaliação foi também para as silagens oriundas das vedações com os filmes DF200 μm e DFBO (0,0080 e 0,0043 pontos de pH hora $^{-1}$).

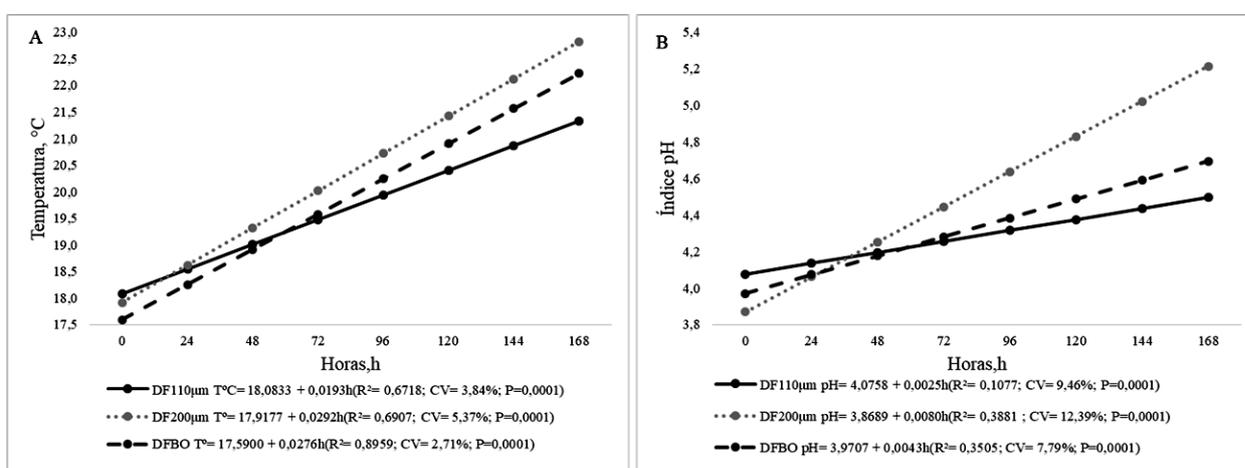


Figura 3. Temperatura das silagens (A) e índice de pH (B) durante a avaliação de estabilidade aeróbica de silagens de milho armazenadas em silos trincheira vedadas com diferentes filmes plásticos dupla face.

A elevação de forma mais abrupta, tanto da temperatura quanto do pH, é oriunda das silagens vedadas com os filmes DF200 μm e DFBO, podendo ser justificada pelo melhor ambiente interno do silo durante o período de fermentação e armazenamento. Devido à baixa concentração de oxigênio presente nesses silos, os microrganismos aeróbicos cessam por completo suas atividades e, conseqüentemente, há maior preservação de carboidratos solúveis. Porém, quando essas silagens são expostas ao oxigênio após a abertura do silo, os microrganismos presentes na massa ensilada retornam o seu crescimento, que pode ser mais acelerado em comparação com silagens que apresentavam alta quantidade de oxigênio durante o armazenamento, pois grande parte do substrato utilizado pelos microrganismos aeróbicos para sua multiplicação já foi utilizada durante o período de armazenamento. Esse processo acarreta aumento de temperatura devido ao intenso crescimento desses microrganismos e elevação de pH decorrente da quebra do ácido lático, principal composto pela manutenção de baixos valores de pH⁽⁴³⁾.

A silagem oriunda da vedação com o filme DF110 μm alcançou a máxima temperatura em menor período de horas (77 horas) em comparação à vedação com filmes DF200 μm

e DFBO (Tabela 5), sendo que, para a vedação com DF200 μ m, a máxima temperatura da silagem ocorreu 48 horas após o DF110 μ m e para o DFBO foi 55 horas após a máxima temperatura da silagem de DF110 μ m.

Tabela 5. Tempo para atingir máxima temperatura, tempo para atingir máximo pH, tempo para perda de estabilidade aeróbica pelo pH e tempo para perda de estabilidade aeróbica pela temperatura durante o período de avaliação de estabilidade aeróbica de silagens de milho armazenadas em silos trincheiras vedadas com diferentes filmes plásticos dupla face

Parâmetro	Filmes Plásticos			Média	P	EPM
	DF110 μ m	DF200 μ m	DFBO			
TTmax, h	77,0 b	128,0 a	132,0 a	108,3	0,0024	5,0211
TpHmax, h	111,0 a	124,0 a	119,0 a	118,0	0,6405	5,6599
EAT, h	99,0 b	105,0 ab	127,0 a	100,3	0,0468	3,9977
EApH, h	159,0 a	128,0 b	156,0 ab	147,7	0,0262	4,2054

* TTmax: Tempo para alcançar máxima temperatura; TpHmax: Tempo para alcançar máximo pH; EAT: Estabilidade aeróbica por temperatura; EApH: Estabilidade aeróbica por pH; h: Horas. Médias, seguidas por letras minúsculas diferentes na linha ou por letras maiúsculas diferentes na coluna, diferem entre si pelo Teste Tukey ($p < 0,05$).

Os efeitos no tempo para atingir a máxima temperatura reforçam os dados apresentados na Figura 2 A, pois a maior oferta de alimento para as leveduras nas silagens vedadas com os filmes DF200 μ m e DFBO ocasionou prolongamento do tempo para atingir a máxima temperatura havendo incremento constante. Outro fato que pode ser apontado é de que a silagem do filme DF110 μ m veio do silo com temperaturas mais elevadas em comparação com as silagens vedadas com os demais filmes plásticos (Tabela 4).

Em relação à quebra da estabilidade aeróbica, levando em consideração o parâmetro de temperatura da silagem, o emprego do filme DFBO apresentou o maior tempo para quebra da estabilidade em comparação ao DF110 μ m (127 horas e 99 horas, respectivamente). Borreani e Tabacco⁽⁴⁴⁾ relatam que aumentar a impermeabilidade dos filmes plásticos foi um dos avanços que possibilitou a manutenção da estabilidade aeróbica por mais tempo. Borreani *et al.*⁽³⁾ constataram que filme plástico de polietileno apresentou permeabilidade de 990 cm³ por m² por 24 horas a 1 bar, enquanto o filme barreira de oxigênio, composto da combinação de poliamida com o polietileno, apresentou permeabilidade de 100 cm³ por m² por 24 horas a 1 bar. Snell *et al.*⁽⁴⁵⁾ também relaram que a permeabilidade ao oxigênio de filmes de polietileno apresenta relação com a sua espessura, pois os autores avaliaram a permeabilidade ao oxigênio de filmes de polietileno com espessura de 90, 150 e 200 μ m e encontraram valores de 459, 258 e 188 cm³ por m² em 24 horas, respectivamente, indicando que, para o mesmo tipo de material, a permeabilidade ao oxigênio é inversamente proporcional à espessura do filme.

Borreani *et al.*⁽³⁾ atestaram que filmes combinando poliamida e polietileno foram mais

eficazes em manter a estabilidade aeróbica da silagem em comparação com filmes convencionais de polietileno. Bernardes *et al.*⁽²⁷⁾ concluíram que filmes que possuem poliamida em sua composição, além de melhorar a estabilidade aeróbica da silagem, possibilitaram menores índices de pH (Tabela 3) em concordância com o presente estudo. Os autores ainda relacionaram a melhor qualidade higiênica da silagem, devido à menor contagem de leveduras na silagem vedada com o filme com poliamida. Borreani e Tabacco *et al.*⁽⁴⁶⁾ relacionaram altas contagens de fungos e leveduras em silagem com aquecimento da massa ensilada no silo, permitindo sugerir que a maior temperatura da silagem (Tabela 4) e menor estabilidade aeróbica da silagem vedada com o filme DF110 μ m (Tabela 5) possa ser atribuída a maior permeabilidade de oxigênio deste filme.

Considerando o parâmetro pH para a quebra da estabilidade aeróbica (Tabela 6), a silagem coberta com a vedação DF200 μ m apresentou a menor estabilidade aeróbica (128 horas), que diferiu da vedação com o filme DF110 μ m (159 horas), enquanto a vedação com o filme DFBO não diferiu estatisticamente ($P>0,05$) dos demais filmes avaliados, desestabilizando após 156 horas do início da avaliação. Resultado esse que complementa as maiores taxas de incremento hora⁻¹ do índice de pH apresentadas na Figura 3 B, o que permite atribuir ao teor de ácido lático contido na silagem que é determinante para os incrementos de pH da silagem, pois leveduras presentes no material ensilado utilizam esse ácido como substrato para seu crescimento, causando elevação do pH e perda da capacidade de conservação da silagem^(47, 43).

Em um segundo momento, o incremento no pH pode ocorrer por conta da quebra de estruturas mais complexas, como as proteínas, gerando nitrogênio amoniacal e resultando nas maiores perdas de nutrientes⁽⁴⁸⁾. Dessa forma, é possível sugerir que as silagens provenientes das vedações com os filmes DF200 μ m e DFBO apresentavam maior quantidade de ácido lático e, durante o período de avaliação da estabilidade aeróbica, houve o consumo intenso deste ácido, resultando em maiores acréscimos hora⁻¹ do índice de pH e temperatura.

Conclusão

O uso dos filmes DF200 μ m e DFBO é recomendado, pois obtiveram a melhor taxa de desaparecimento ruminal da matéria seca, índices de pH, temperatura, perdas físicas de matéria seca e estabilidade aeróbica da silagem de milho armazenada em silos tipo trincheira.

Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

Referências

1. Oliveira CA, Millen DD, Survey of the nutritional recommendations and management practices adopted by feedlot cattle nutritionists in Brazil. *Animal Feed Science Technology*. 2014;197: 64-75. English. Available in: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.08.010>
2. Silva MSJD, Jobim CC, Poppi EC, Tres TT, Osmari MP. Production technology and quality of corn silage for feeding dairy cattle in Southern Brazil. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 2015; 44(9): 303-313. English. Available in: <https://doi.org/10.1590/S1806-92902015000900001>
3. Borreani G, Tabacco E, Cavallarin L. A new oxygen barrier film reduces aerobic deterioration in farm-scale corn silage. *Journal of Dairy Science*. 2007; 90(10): 4701-4706. English. Available in: <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0310>
4. Borreani G, Tabacco E. Improving corn silage quality in the top layer of farm bunker silos through the use of a next generation barrier film with high impermeability to oxygen. *Journal Dairy Science*. 2014; 97(4): 2415-2426. English. Available in: <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7632>
5. Ferraretto LF, Shaver RD. Effects of whole-plant corn silage hybrid type on intake, digestion, ruminal fermentation, and lactation performance by dairy cows through a meta-analysis. *Journal of Dairy Science*. 2015; 98(4): 2662-2675. English. Available in: <https://doi.org/10.3168/jds.2014-9045>
6. Neumann M, Leão GFM, Askel EJ, Marafon F, Figueira DN, Poczynek M. Sealing type effect on corn silage quality in bunker silos. *Ciência Rural*. 2017; 47(5): 1-6. English. Available in: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20160643>
7. Neumann M, Leão GFM, Santos LC, Marafon, F, Askel EJ. Double seal in corn silage in confined cattle production. *Revista de Ciências Agroveterinárias (Journal of Agroveterinary Sciences)*. 2018; 17(1): 100-106. Portuguese. Available in: <https://doi.org/10.5965/223811711712018100>
8. Bernardes, TF. Advances in Silage Sealing. In: Da Silva T, Santos EM. *Advances in Silage Production and Utilization*. 1 ed. Rijeka, Croatia: InTech; 2016. p. 53-62. English. Available in: (<https://www.intechopen.com/books/advances-in-silage-production-and-utilization/advances-in-silage-sealing>).
9. Wilkinson JM, Fenlon JS. A meta-analysis comparing standard polyethylene and oxygen barrier film in terms of losses during storage and aerobic stability of silage. *Grass and Forage Science*. 2014; 69(3): 385-392. English. Available in: <https://doi.org/10.1111/gfs.12087>
10. Pott CA, Müller MML, Bertelli PB. Green manuring as an agroecological alternative for the recovery of soil fertility. *Revista Ambiente*. 2007; 3(1): 51-63. Portuguese. Available in: <https://revistas.unicentro.br/index.php/ambiencia/article/view/300/412>
11. Brazilian Society of Soil Science. State Center Paraná. *Fertilization and Liming Manual for the State of Paraná*. – Curitiba:SBCS/NEPAR; 2017. 301p. Portuguese. Available in: https://www.sbcs.org.br/index.php?route=product/product&product_id=136
12. AOAC Association of Official Analytical Chemists. *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*, 16th edition, Association of Official Analytical Chemists. Arlington, V.A., U.S.A. 1995. English. Available in: <https://www.aoac.org/journal-of-aoac-international/>
13. Neumann M, Sandini IE, Ost PR, Falbo MK, Lustosa SBC, Pellegrini LG. feedlot performance of steers fed with silages of corn and of sorghum associated with three levels of concentrate. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo, Sete Lagoas*. 2007; 6(3): 365-378. Portuguese. Available in: <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v6n03p%25p>
14. Cherney JH, Cherney DJR. *Assessing Silage Quality*. In: Buxton DR, Muck RE, Harrison HJ. *Silage Science and Technology*. 4nd ed. American Society of Agronomy, Inc., Crop Science Society of America, Inc.,

- Soil Science Society of America, Inc. 2003. p. 141-198. English. Available in: (<https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.2134/agronmonogr42.c4>)
15. Silva DJ, Queiroz AC. Análise de alimentos, métodos químicos e biológicos. 3ª reimpressão. Universidade Federal de Viçosa; 2009. 235p. Portuguese. Available in: <https://www.editoraufv.com.br/produto/analise-de-alimentos-3-edicao/1108830>
16. Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*. 1991; 74(10): 3583-3597. English. Available in: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
17. Goering HK, Van Soest PJ, Forage fiber analysis: apparatus reagents, procedures and some applications. *Agricultural Handbook*. 1970. p.379. English. Available in: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=2BjFvEonaHoC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Goering+HK,+Van+Soest+PJ,+Forage+fiber+analysis:+apparatus+reagents,+procedures+and+some+applications.+Agricultural+Handbook.+1970.+p.379.+&ots=mNWMXpHJqX&sig=eLL9DhSM6Mm58blGBv-QXhkynIs#v=onepage&q&f=false>
18. Bolsen KK, Ashbell G, Weinberg ZG. Silage fermentation and silage additives-Review. *Asian-Australasian journal of animal sciences*. 1996; 9:483-494. English. Available in: <https://doi.org/10.5713/ajas.1996.483>
19. Nocek JE. In situ and other methods to estimate ruminal protein and energy digestibility: a review. *Journal of Dairy Science*. 1988; 71(8): 2051-2069. English. Available in: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(88\)79781-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(88)79781-7)
20. Price JDA. Modification of the Barker – Summer son Method for the Determination of Lactic Acid. *Afialyst*. 1969; 94(1125): 1151-1152. English. Available in: <https://doi.org/10.1039/AN9699401151>
21. Kung Junior L, Robinson JR, Ranjit NK, Chen JH, Golt CM, Pesek JD, Microbial populations, fermentation end-products, and aerobic stability of corn silage treated with ammonia or a propionic acid-based preservative. *Journal of Dairy Science*. 2000; 83(7): 1479-1486. English. Available in: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(00\)75020-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)75020-X)
22. Weinberg ZG, Shatz O, Chen Y. Effect of lactic acid bacteria inoculants on in vitro digestibility of wheat and corn silages. *Journal of Dairy Science*. 2007; 90(10): 4754-4762. English. Available in: <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0176>
23. Taylor CC, Kung Junior L. The effect of *Lactobacillus buchneri* 40788 on the fermentation and aerobic stability of high moisture corn in laboratory silos. *Journal of Dairy Science*. 2002; 85(6): 1526-1532. English. Available in: [https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(02\)74222-7/pdf](https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(02)74222-7/pdf)
24. SAS Institute. *Sas/Stat User's guide: statistics, version 6. 4.ed.* North Caroline, Version 2. Cary (NC): SAS Insitute Inc., 1993. 943p. English. Available in: (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK7244/>)
25. Machado, J. Filmes de vedação na conservação de silagem de milho para bovinos de corte em terminação. Maringá, 34 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Zootecnia, Produção Animal, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2019. Portuguese. Available in: (<http://sites.uem.br/ppz/trabalhos-de-conclusao/dissertacoes/2019/juliana-machado.pdf>);(https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=6994113)
26. Daniel JLP, Bernardes TF, Jobim CC, Schmidt P, Nussio LG. Production and utilization of silages in tropical areas with focus on Brazil. *Grass and Forage Science*. 2019; 74(2): 188-200. English. Available in: <https://doi.org/10.1111/gfs.12417>
27. Bernardes TF, Nussio LG, Amaral RC. Top spoilage losses in maize silage sealed with plastic films with different permeabilities to oxygen. *Grass and Forage Science*. 2012; 67(1); 34-42. English. Available in: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2011.00823.x>

28. Bernardes TF, Daniel JLP, Adesogan AT, Mcallister TA, Drouin P, Nussio LG, Huhtanen P, Tremblay GF, Bélanger G, Cai Y. Silage review: Unique challenges of silages made in hot and cold regions. *Journal of dairy science*. 2018; 101(5): 4001-4019. English. Available in: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13703>
29. Borreani G, Dolci P, Tabacco E, Cocolin L. Aerobic deterioration stimulates outgrowth of spore-forming *Paenibacillus* in corn silage stored under oxygen-barrier or polyethylene films. *Journal Dairy Science*. 2013; 96(8): 5206–5216. English. Available in: <https://doi.org/10.3168/jds.2013-6649>
30. Gallo A, Guibert G, Frisvad JC, Bertuzzi T, Nielsen KF. Review on mycotoxin issues in ruminants: occurrence in forages, effects of mycotoxin ingestion on health status and animal performance and practical strategies to counteract their negative effects. *Toxins*. 2015; 7(8): 3057-3111. English. Available in: <https://doi.org/10.3390/toxins7083057>
31. Kleinschmit DH, Kung Junior L. A Meta-Analysis of the Effects of *Lactobacillus buchneri* on the Fermentation and Aerobic Stability of Corn and Grass and Small-Grain Silages. *Journal of Dairy Science*. 2006; 89(10): 4005 – 4013. English. Available in: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72444-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72444-4)
32. Kung Junior L, Shaver RD, Grant RJ, Schmidt RJ. Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. *Journal of dairy Science*. 2018; 101(5): 4020-4033. English. Available in: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13909>
33. Daniel JLP, Capelesso A, Cabezas-Garcia EH, Zopollatto M, Santos MC, Huhtanen P, Nussio LG. Fibre digestion potential in sugarcane across the harvesting window. *Grass and Forage Science*. 2014; 69(1); 176-181. English. Available in: <https://doi.org/10.1111/gfs.12044>
34. Yoshii T, Asanuma N, Hino T. Effect of ethanol on nitrate and nitrite reduction and methanogenesis in the ruminal microbiota. *Animal Science Journal*. 2005; 76(1): 37-42. English. Available in: <https://doi.org/10.1111/j.1740-0929.2005.00235.x>
35. Daniel JLP, Amaral RC, Neto AS, Cabezas-Garcia EH, Bispo AW, Zopollatto M, Cardoso TL, Spoto MHF, Santos FAP, Nussio LG. Performance of dairy cows fed high levels of acetic acid or ethanol. *Journal of Dairy Science*. 2013; 96(1): 398-406. English. Available in: <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5451>
36. Kim SC, Adesogan AT. Influence of ensiling temperature, simulated rainfall, and delayed sealing on fermentation characteristics and aerobic stability of corn silage. *Journal of Dairy Science*. 2006; 89(8): 3122-3132. English. Available in: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72586-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72586-3)
37. Amaral RC, Santos MC, Daniel JLP, Sá Neto A, Bispo AW, Cabezas-Garcia EH, Nussio LG. The influence of covering methods on the nutritive value of corn silage for lactating dairy cows. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 2014; 43; 471–478. English. Available in: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982014000900003>
38. Pahlow G, Muck RE, Driehuis F, Elferink SJWHO, Spoelstra SF. Microbiology of ensiling. *Agronomy*. 42; 31-94. English. Available in: <https://doi.org/10.2134/agronmonogr42.c2>
39. Wang K, Uriarte ME, Li SC, Rich K, Banchemo C, Bu DP, Wilkinson JM, Bolsen KK. Effect of type of underlay film on fermentation profile, nutritional quality and estimated loss of organic matter in the outer layer of whole-plant maize ensiled in large bunker silos. *Grass and Forage Science*. 2017; 72(4): 772-776. English. Available in: <https://doi.org/10.1111/gfs.12283>
40. Tabacco E, Righi F, Quarantelli A, Borreani G. Dry matter and nutritional losses during aerobic deterioration of corn and sorghum silages as influenced by different lactic acid bacteria inocula. *Journal of Dairy Science*. 2011; 94(3): 1409-1419. English. Available in: <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3538>
41. Hoffman PC, Combs DK. Molds and mycotoxins in corn silage and high moisture corn. Part I. Managing aerobic stability. Department of Dairy Science, University of Wisconsin-Madison, 2009. English. Available in: <http://dysci.wisc.edu/uwex/brochures/brochures/hoffmold.pdf>

42. Pitt RE, Muck RE. A diffusion model of aerobic deterioration at the exposed face of bunker silos. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 1993; 55(1): 11-26. English. Available in: <https://doi.org/10.1006/jaer.1993.1029>
43. Wilkinson JM, Davies DR. The aerobic stability of silage: key findings and recent developments. *Grass and Forage Science*. 2013; 68(1): 1-19. English. Available in: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2012.00891.x>
44. Borreani G, Tabacco E. Plastics in animal production, In: ORZOLEK, M. (Ed.). *A Guide to the Manufacture, Performance, and Potential of Plastics in Agriculture*. 9nd ed. Amsterdam: Elsevier Ltd., 2017. p. 145-185. English. Available in: <https://www.sciencedirect.com/book/9780081021705/a-guide-to-the-manufacture-performance-and-potential-of-plastics-in-agriculture>
45. Snell HGJ, Oberndorfer C, Lücke W, Van Den Weghe HFA. Effects of the colour and thickness of polyethylene film on ensiling conditions and silage quality of chopped maize, as investigated under ambient conditions and in mini-silos. *Grass and Forage Science*. 2002; 57(4): 342-350. English. Available in: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2494.2002.00334.x>
46. 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*. 2008; 91(11): 4272-4281. English. Available in: <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1151>
47. Rabelo CHS, Rezende AV, Nogueira DA, Rabelo FHS, Senedese SS, Vieira PF, Barbolsa LA, Carvalho A. Losses fermentative and aerobic stability of corn silages inoculated with lactic acid bacterial in different maturity stages. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*. 2012; 13(3): 656-668. English. Available in: <https://doi.org/10.1590/S1519-99402012000300006>
48. Lima EM, Jayme DG, Silva FCO, Micheli PHF, Cortes IHG, Anjos GVS, Silva NTA, Ottoni D. Aerobic deterioration of silages. *Electronic Journal Nutritime*. 2015; 12(2): 3996-4003. English. Available in: https://www.nutritime.com.br/arquivos_internos/artigos/ARTIGO299.pdf