



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA CAMPUS II – AREIA-PB
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE ZOOTECNIA**

JOSÉ WELLINGTON DE BARROS CORDEIRO

NÍVEIS DE TORTA DE ALGODÃO EM SILAGENS DE SORGO FORRAGEIRO

**AREIA
2020**

JOSÉ WELLINGTON DE BARROS CORDEIRO

NÍVEIS DE TORTA DE ALGODÃO EM SILAGENS DE SORGO FORRAGEIRO

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

Orientador: Prof. Dr. Edson Mauro Santos.

**AREIA
2020**

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

C794n Cordeiro, Jose Wellington de Barros.
Níveis de torta de algodão em silagens de sorgo
forrageiro / Jose Wellington de Barros Cordeiro. - João
Pessoa, 2020.
32 f. : il.

Orientação: Edson Mauro Santos.
Monografia (Graduação) - UFPB/CCA.

1. Aditivo nutricional. 2. Fermentação. 3. *Gossypium
hirsutum*. I. Santos, Edson Mauro. II. Título.

UFPB/CCA-AREIA

JOSÉ WELLINGTON DE BARROS CORDEIRO

NÍVEIS DE TORTA DE ALGODÃO EM SILAGENS DE SORGO FORRAGEIRO

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

Aprovado em: 20/04/2020.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Edson Mauro Santos (Orientador)
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)



Profª. Dra. Juliana Silva de Oliveira
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)



Mestre Hactus Souto Cavalcanti
Universidade Federal Da Paraíba (UFPB)

A minha esposa Rosevânia e minha filha Valentina,
pelo o amor incondicional e por toda ajuda na minha
trajetória, DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Ao Grande Arquiteto do Universo, pelas bênçãos e realizações que acontece em minha vida.

Aos meus pais, Pedro Cordeiro do Rego e Ivanilda de Barros Cordeiro que sempre buscaram me ensinar valores e em nenhum momento da minha vida deixaram de me apoiar. Meu pai, me ensinou desde cedo que é preciso trabalhar, ser dedicado, honesto e assumir suas responsabilidades, agradeço muito a Deus por ter me dado um pai tão maravilhoso, o qual vou me espelhar sempre. A minha mãe ela é a pessoa mais bondosa que conheço, sempre muito carinhosa e disposta a me ajudar no que for preciso sem medir esforços. Um exemplo de mulher, mãe e esposa, meu muito obrigado a Deus por ter presenteado com a mãe que tenho. Obrigado por tudo papai e mamãe, amo vocês.

Ao meu irmão Wallisson, que apesar de todos os cacetes desde guri, a gente se ama muito e sempre estamos juntos.

A minha esposa Rosevânia, que sempre esteve ao meu lado, antes mesmo da gente namorar. Me recordo que no 3º ano do ensino médio peguei uma catapora braba, quase morria, acho eu exagerei um pouco, mas foi a única pessoa que chegou perto de mim e me deu um abraço. Sou muito grato a Deus por ter te colocado no meu caminho, você é uma pessoa quase perfeita se não fosse tão braba, você é um exemplo de amiga, mulher, mãe e esposa. Uma mulher extremamente inteligente, bondosa, engraçada, batalhadora, humilde, de personalidade, de caráter, preocupada com o próximo, linda por dentro e por fora como sempre te falo. Da 7ª série até aqui já se passaram muitos anos, vivemos momentos maravilhosos e outros não tão bons, mas acredito que nenhum foi tão bom e louco como do dia 30/10/2017, 23/05/2018 e 24/03/2020, o qual descobrimos que íamos ser pais, depois o nascimento da nossa filha Valentina e novamente descobrimos que vamos ser pais. Amor eu não tenho palavras para descrever o quanto você é especial para mim e meu muito obrigado pelo companheirismo e incentivo durante todos esses anos.

A minha filha Valentina, que foi o maior e melhor presente que Deus me deu. Se existe alguma sensação melhor do que ser pai, eu desconheço. Filha, apesar de não ter nem dois anos, você é muito inteligente e dá para conversar com você, eu particularmente como pai fico bestinha com você. Meu amor, és um ser iluminado, cheio de energia, que papai e mamãe corre muito para aguentar o seu pique, a cada que passa, você me ensina a ser um pai e uma pessoa

melhor. Muito obrigado minha filha por existir e muito obrigado a Deus por proporcionado essa dádiva de ser seu pai.

A Raimundo e Marizete por todo apoio, compreensão e paciência. Sou grato a Deus por minha filha ter avôs tão amorosos e dedicados.

Agradeço ao Professor Dr. Edson Mauro Santos e a Professora Dr. Juliana da Silva Oliveira por terem aberto as portas do GEF para mim, e deixar claro que todos os seus ensinamentos e orientações foram fundamentais para meu crescimento pessoal e profissional.

Ao Grupo de Estudos em Forragicultura (GEF) por todos os momentos compartilhados de trabalho, convivência, oportunidades e ensinamentos. A todos que fazem parte do grupo, muito obrigado.

Aos professores do Curso e funcionários que fazem da UFPB, campus de Areia, nossa segunda casa, meu muito obrigado por compartilhar comigo tantos momentos importantes da minha formação acadêmica, profissional e pessoal.

Ao Grupo de Estudos em Conversas (GEB) não está errado a sigla, é essa aí mesmo. O Grupo é formado pela turma Prodígio e seus agregados (Gabriel, Ryan, Thiago, Igor Magnata (cumpade), Danrley, Borba, Tiago, Wellington, Natalia Med Vet, Laís, GeniRRR, Vania, Maria Adrielle e Ana Cecilia Testachu Muniz (Cumade). Pessoal!!! Se eu fosse falar de cada um, isso levaria muito tempo e muitas páginas, meu TCC iria virar uma tese só para falar de cada um, então dessa forma, quero agradecer a todos pela irmandade que fizemos ao longo desses anos, o GEB é uma verdadeira família, agradeço a Deus por conhecer e conviver com vocês. Obrigado por tudo!!!

Agradeço a Hactus Souto, Izabelly Pontes e Evandra por todo empenho e comprometimento que tiveram comigo nos últimos fins de semana, o qual deixaram um pouco os seus afazeres para me ajudar nas análises, sem vocês eu não teria conseguido. Meu muito obrigado!!!

Aos amigos (as) que fiz na Universidade: Prima Bruna, Karol Sisterna, Taynã Cássia, Primos (Joakson Alves, Paulo Azevedo, Luís Capim), Ricardo Santos, Deborah Rodrigues, Sergio Fidelis e Kelvyn.

Agradeço a coordenação do curso de Zootecnia, nas pessoas da Prof^ª Dra. Adriana Rodrigues Evangelista, Coordenadora e do Prof Dr. Marcos Buzanskas, Vice - Coordenador e do Técnico Josemberto que não mediram esforços para ajudar no que fosse necessário.

Aos companheiros (as) de estágio: Itallo, Pedro, Caroline, Vanessa e Lourene. Muito obrigado por todo companheirismo e aprendizado que tivemos no estágio.

RESUMO

O sorgo é a segunda cultura mais utilizada no Brasil para a ensilagem. Mesmo com suas características desejáveis, tem como pontos negativos a alta umidade e excesso de carboidratos solúveis, acarretando em problemas fermentativos e perdas. Dessa forma, objetivou-se determinar o nível ótimo de inclusão de torta de algodão na silagem de sorgo avaliando o perfil fermentativo, perfil microbiano, estabilidade aeróbia e as perdas na ensilagem. O cultivar utilizado foi o BRS Ponta Negra foi semeado na cidade de Barra de Santana-PB, sendo colhido aos 105 dias.. O experimento foi conduzido em um delineamento inteiramente casualizado. Os tratamentos foram 5 níveis de inclusão de torta de algodão: sorgo + 0% torta; sorgo + 5% torta; sorgo + 10% torta; sorgo + 20% torta e sorgo + 40% torta, com 4 repetições, totalizando 20 silos. Os silos foram abertos 55 dias após a ensilagem. As variáveis analisadas foram pH; matéria seca; carboidratos solúveis (na ensilagem e após a abertura); nitrogênio amoniacal; populações microbianas; perdas por gases e efluentes e recuperação de matéria seca; e estabilidade aeróbia das silagens. Os dados foram submetidos a análise de variância e de regressão pelo PROC GLM do SAS, ambos com nível de significância de 5%. A adição de torta de algodão promoveu aumento do pH e matéria seca, com diminuição do teor de carboidratos solúveis no momento da ensilagem. Na abertura, as silagens apresentaram aumento linear do teor de matéria seca ($P<0,0001$) e pH ($P=0,0006$), enquanto houve diminuição linear dos carboidratos solúveis residuais após a fermentação ($P<0,0001$) e do teor de nitrogênio amoniacal ($P<0,0001$). Para as contagens de BAL, observou-se efeito quadrático ($P<0,0001$) com ponto máximo no nível de 20% de inclusão da torta de algodão, enquanto as leveduras diminuíram de forma linear conforme se adicionou torta à mistura ($P<0,0001$). Assim, houve diminuição das perdas por gases e efluentes ($P<0,0001$), com aumento significativo da recuperação de matéria seca nas silagens contendo maiores níveis de torta de algodão ($P<0,0001$). Semelhantemente, a estabilidade aeróbia foi maior nas silagens contendo maiores níveis de torta (20 e 40%), passando mais de 80 horas para apresentar quebra da estabilidade. Conclui-se que a torta de algodão é um aditivo nutricional com potencial para utilização em silagens de sorgo forrageiro, por atuar como absorvente de umidade, tamponante do meio e inibidor de leveduras, resultando em maior recuperação de matéria seca.

Palavras-chave: Aditivo nutricional. Fermentação. *Gossypium hirsutum*. *Sorghum bicolor*. Capacidade tamponante.

ABSTRACT

Sorghum is the second crop used in Brazil for ensiling. Despite its desirable characteristics for ensiling, sorghum have some negative issues as high moisture and surplus of water-soluble carbohydrates, leading to fermentative issues and increased losses. Thus, it the aim was to determine the optimal inclusion level of cottonseed cake (CSC) in sorghum silage evaluating fermentative profile, microbial profile, aerobic stability and ensiling losses. The cultivar used was the 'BRS Ponta Negra', which was sown at Barra de Santana town, Paraiba, Brazil. The harvest occurred 105 days after sowing. The material was chopped and the ensiling process was performed in experimental silos made of PVC tubes on March 30, 2019. Experiment was carried out in a completely randomized design. Treatments consisted of 5 inclusion levels of cottonseed cake: sorghum + 0% CSC; sorgho + 5% CSC; sorgho + 10% CSC; sorgho + 20% CSC e sorgho + 40% CSC, with 4 replicates, totalizing 20 silos with were opened 55 days after ensiling. Variables analyzed was pH; dry matter; water-soluble carbohydrates (at ensiling and opening); ammoniacal nitrogen; microbial population; gases and effluent losses and dry matter recovery and; aerobic stability of silages. Analysis of variance and regression were performed using the PROC GLM of SAS, with significant level of 5%. CSC inclusion provided pH and dry matter increases, with a decrease in water-soluble carbohydrates at ensiling. At opening, silages showed linear increase in dry matter content ($P<0.0001$) and pH ($P=0.0006$), whereas there was linear decrease in residual water-soluble carbohydrates after fermentation process ($P<0.0001$) and of ammoniacal nitrogen ($P<0.0001$). LAB counting showed a quadratic effect ($P<0.0001$) with maximum point in the level of 20% of CSC inclusion, whereas yeasts showed linear decrease ($P<0.0001$). Thus, there was a decrease in gases and effluent losses with significant increase of dry matter recovery in silages containing higher proportion of CSC ($P<0.0001$). Similarly, aerobic stability was higher in silages with more CSC level (20 and 40%), taking more than 80 hours to start aerobic deterioration. Thereby, CSC is a nutritional additive with potential utilization in acid silages, because it act as a moisture absorbent, medium buffer and yeast inhibitor, leading to greatest dry matter recovery.

Keywords: Nutritional additive. Fermentation. *Gossypium hirsutum*. *Sorghum bicolor*. Buffering capacity.

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Características de genótipos de sorgo forrageiro antes da ensilagem colhido em diferentes idades 16
- Tabela 2.** Matéria seca, carboidratos solúveis (CHOs) e pH em silagens de sorgo com níveis de torta de algodão no momento da ensilagem..... 22
- Tabela 3.** pH, carboidratos solúveis residuais, nitrogênio amoniacal e matéria seca de silagens de sorgo com níveis de torta de algodão abertas aos 55 dias 23
- Tabela 4.** Contagens microbianas de silagens de sorgo com níveis de torta de algodão abertas aos 55 dias 24
- Tabela 5.** Perdas por gases (PG), perdas por efluentes (PE) e recuperação de matéria seca (RMS) em silagens de sorgo com níveis de torta de algodão abertas aos 55 dias..... 25
- Tabela 6.** Estabilidade aeróbia e temperatura máxima em silagens de sorgo com níveis de torta de algodão abertas aos 55 dias 26

LISTA DE ABREVIATURAS

BAL	Bactérias produtoras de ácido lático
BDA	Batata dextrose ágar
BOD	Biochemical oxygen demand
CHOs	Carboidratos Solúveis
cm	Centimetro
EPM	Erro-padrão da média
EE	Extrato etéreo
FDN	Fibra em detergente neutro
g	Gramma
kg	Kilograma
h	Hora
h ⁻¹	Hectare
m	Metro
m ³	Metro cúbico
MFa	Massa de forragem na abertura
MFf	Massa de forragem na ensilagem (kg)
MFSf	Matéria seca da forragem na ensilagem (%)
ML	Mofos e leveduras
ml	Mililitro
mm	Milímetro
MRS	Man, Rogosa e Sharpe

MS	Matéria seca
MSa	Teor de matéria seca na abertura (%)
MSf	Teor de matéria seca na ensilagem (%)
N-NH3	Nitrogênio amoniacal
PB	Proteína bruta
PE	Perdas por efluentes
PG	Perdas por gases
Ph	Potencial hidrogênio-iônico
PSA	Peso do silo na abertura (fechado)
PSF	Peso do silo na ensilagem (fechado)
RMS	Recuperação de matéria seca
rpm	Rotação por minuto
S	Peso do silo
Saa	Peso do silo vazio + areia na abertura (kg)
Saf	Peso do silo vazio + areia na ensilagem (kg)
T	Temperatura
t	Tonelada
UFC	Unidade formadora de colônia

LISTA DE SÍMBOLOS

°C	Graus Celsius
%	Porcentagem
<	Menor

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1 Cultura do sorgo	15
2.2 Ensilagem do sorgo forrageiro	16
2.3 Potencial da torta de algodão como aditivo.	18
3 METODOLOGIA	20
3.1 Local do experimento.....	20
3.2 Montagem do experimento.....	20
3.3 Delineamento experimental.....	20
3.4 Mensurações	21
3.5 Análise estatística	22
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
5 CONCLUSÃO	29
REFERÊNCIAS.....	30

1 INTRODUÇÃO

O sistema de produção de ruminantes em países tropicais é voltado para a utilização de pastagens, as quais apresentam grande variação em termos de quantidade e qualidade durante o ano por conta da sazonalidade da precipitação pluvial. Com isso, existe a necessidade de conservar forragem durante o período chuvoso para fornecer aos animais no período de escassez de alimento, sendo a ensilagem uma das principais técnicas de conservação.

A ensilagem é uma forma de conservar a forragem em seu estado úmido, por meio da fermentação realizada por bactérias ácido lácticas, havendo acidificação do meio e redução do pH, o que inibe o crescimento de microrganismos indesejáveis. A utilização de silagens é uma ferramenta essencial quando se pretende aproveitar o excedente da produção de forragem na época das chuvas, para ser utilizada na época das secas (ZANINE et al., 2006).

Em função disso, observa-se que o sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) apresenta alta produtividade, com grande versatilidade de uso e potencial de exploração em regiões tropicais devido à sua adaptação a este tipo de clima (PERAZZO et al., 2017). Nesse sentido, a silagem de sorgo apresenta-se como uma ótima alternativa para alimentação animal, haja vista que seu valor nutritivo é equiparado ao da silagem de milho, porém com menores custos de produção e produtividade superior em condições semiáridas (BUSO, et al., 2011)

Apesar disso, o sorgo forrageiro apresenta algumas limitações importantes quando se trata da ensilagem. Quando é cultivado no período chuvoso ou sob irrigação, a fim de otimizar a estação de crescimento, o teor de matéria seca (MS) do sorgo é baixo levando a maiores perdas por efluentes, por conta da alta umidade. Tem ainda um elevado teor de carboidratos solúveis, o que resulta numa drástica acidificação da massa ensilada, ocorrendo perdas fermentativas causadas por leveduras (DANIEL et al., 2019; SANTOS et al., 2018). Finalmente, por ser uma gramínea tropical (C₄), apresenta baixos teores proteicos o que limita sua utilização exclusiva na alimentação dos animais.

Analisando tais limitações, o uso de aditivos faz-se necessário para corrigir os problemas inerentes a esta planta. Para tanto, é importante que o aditivo possua a capacidade de reter umidade, ou seja, tenha alto teor de matéria seca, permitindo diminuir as perdas por efluentes. Além disso, a fermentação intensa do sorgo deve ser desacelerada de forma que o meio não acidifique demais, ou seja, o aditivo precisa tamponar o meio para que o pH final fique entre 3,8 e 4,2, faixa preconizada como ideal (MCDONALD; HENDERSON; HERON, 1991). Associado a isso, é importante que o aditivo apresente um alto teor proteico para corrigir o déficit desse nutriente, permitindo a utilização em maiores proporções das silagens aditivadas

na alimentação animal. Para atender todos estes requisitos, pode-se considerar que o aditivo ideal é um que, além de controlar as perdas da ensilagem, incremente o valor nutricional.

Dentre os aditivos existentes, destaca-se a torta de algodão, por apresentar as características descritas anteriormente, ou seja, alto teor de matéria seca, proteína bruta e lipídeos (DIAS *et al.*, 2018). Este subproduto é gerado pelo processamento do caroço de algodão (*Gossypium hirsutum* L.), sendo o resíduo da extração do óleo após a prensagem (ROGERS; POORE; PASCHAL, 2002). Apesar dos benefícios, por ser um subproduto do algodão, apresenta na sua composição o gossipol, que é considerado um fator antinutricional. Em função disso, existem limitações quanto ao uso e à quantidade fornecida dos alimentos provenientes do algodão uma vez que o gossipol causa toxidez nos animais que podem ser danosas a curto e longo prazo (CÂMARA *et al.*, 2015; GADELHA *et al.*, 2014).

Nesse sentido, a torta de algodão é um aditivo em potencial, pois apresenta os requisitos necessários para corrigir os problemas acima relatados e, no processo de ensilagem tem-se a possibilidade de redução do gossipol (PELITIRE; DOWD; CHENG, 2014; ZHANG, WEN JU *et al.*, 2007). Dessa forma, objetivou-se determinar o nível ótimo de inclusão da torta de algodão na silagem de sorgo forrageiro avaliando o perfil fermentativo, perfil microbiano, estabilidade aeróbia e perdas das silagens.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cultura do sorgo

O sorgo forrageiro quando comparado com outras gramíneas requer menos água para se desenvolver, sendo que o período mais crítico à falta de água é o florescimento (DURÃES, 2013). Dessa forma, a planta exibe mecanismos de tolerância à seca, característica que possibilita a maior produção de matéria seca por área se comparado ao milho. No território brasileiro, a produção do sorgo é praticamente toda voltada à produção animal, onde os grãos são utilizados como substituto do milho em diversas rações para monogástricos e como volumoso na alimentação de ruminantes (COLOMBINI et al., 2015; SANTOS, 2013; SINGH et al., 2017).

A utilização desta cultura se concentra em regiões com temperaturas elevadas e tem se expandido a locais de maiores limitações hídricas pela sua adaptabilidade. Pelas características da cultura o cultivo do sorgo é considerado mais adequado para região devido às menores exigências hídricas e de fertilidade do solo (CRUZ et al., 2010). Tal fato acontece pela sua capacidade de ajustar-se osmoticamente, por meio do acúmulo de solutos, mantendo a absorção de água pelas raízes e a condutância estomática. Dentre os solutos, predominam os carboidratos simples e íons de potássio, magnésio e cloro (TURNER, 2018).

Corroborando com o potencial produtivo desta cultura, Perazzo *et al.* (2017) cultivaram híbridos de sorgo no Semiárido paraibano na época chuvosa e relataram produções variando de 9 a 17 t MS ha⁻¹, sendo realizados dois cortes neste período. Isso demonstra a possibilidade de cultivo desta espécie em regiões de clima semiárido, onde se busca sincronizar o período de crescimento com a época de maior disponibilidade de água.

Apesar da sua produtividade notória, o sorgo apresenta uma característica importante em sua estrutura morfológica quando se pensa na ensilagem, principalmente nos cultivares de aptidão forrageira. Há uma maior proporção de colmos em relação à panícula e ao rebrotar, ocorre intensificação no perfilhamento, incrementando a quantidade de colmos. Além disso, os cultivares forrageiros tem menor participação da panícula na proporção total de biomassa, a qual, tem alto teor de MS e concentração de nutrientes, permitindo maiores incrementos no teor de MS do material a ser ensilado (PERAZZO *et al.*, 2017; PINHO *et al.*, 2015). Será discutido adiante as implicações das características agrônômicas do sorgo para o processo de ensilagem.

2.2 Ensilagem do sorgo forrageiro

A ensilagem é compreendida como o processo de cortar, triturar, compactar e armazenar a forragem no silo, seguindo da vedação para possibilitar a fermentação e, assim, há produção de ácidos capazes de conservar o alimento (ROCHA JÚNIOR et al., 2000). A ensilagem é tida como um dos métodos tradicionais de conservação de forragem. As silagens de milho e sorgo, por terem alta produção e apresentarem bom valor nutricional, podem ser consideradas as forrageiras tropicais mais utilizadas no mundo para produção de silagem (QUARESMA et al., 2010; SOUZA, 2008).

O sorgo é indicado para a produção de silagem por possuir elevado rendimento e características que favorecem o perfil fermentativo, como alto teor de carboidratos solúveis e baixa capacidade tampão (FERNANDES et. al, 2009). Porém, existem alguns problemas relacionados a esta planta que podem influenciar a fermentação e principalmente as perdas durante o processo. A época correta de colheita, a escolha dos genótipos, a composição química, o estágio de maturação da planta, o tempo de exposição do ar antes e após a ensilagem e a adequada compactação são fatores determinantes na produção de uma silagem de qualidade (SANTOS et al., 2010; VILELA et al., 2008).

Nesse sentido, alguns autores têm relatado que o ponto de corte ótimo do sorgo é quando o grão atinge o estágio leitoso/pastoso (PERAZZO *et al.*, 2017; SANTOS *et al.*, 2018), pois alia-se bom valor nutritivo e produtividade. No entanto, o teor de umidade dificilmente ultrapassa os 300 g kg⁻¹ nesse estágio, principalmente quando a planta está em rebrota. Esse elevado conteúdo de água pode causar problemas ao se ensilar o material, devido ao aumento das perdas por efluentes, pois de acordo com McDonald; Henderson; Heron (1991) são necessários de 300 a 350 g kg⁻¹ de matéria seca (MS) para aliar boa compactação e redução da atividade de água. Seguem, na Tabela 1, algumas diferenças entre genótipos nas épocas de colheita influenciando nutricionalmente as plantas.

Tabela 1. Características de genótipos de sorgo forrageiro antes da ensilagem colhido em diferentes idades

Cultivar	Colheita (dias)	g kg ⁻¹				Autor	MS
			PB	CHOs	pH ¹		
BRS Ponta Negra*	85	351,2	30,6	318,2	3,66	Santos <i>et al.</i> (2018)	
BRS Ponta Negra*	98	232,5	-	-	-	Perazzo <i>et al.</i> (2013)	
BRS Ponta Negra	*	208,2	49,1	205,9	3,02	Pinho <i>et al.</i> (2015)	
BRS 655 - C1 [#]	105	290,4	102,2	173,3	3,91	Neto <i>et al.</i> (2017)	
BRS 655 - C2 [#]	105	282,1	106,0	211,6	3,81	Neto <i>et al.</i> (2017)	

BRS 655	*	231,7	69,4	125,8	3,12	Pinho <i>et al.</i> (2015)
BRS 610 - C1 [#]	105	228,9	95,1	184,4	3,92	Neto <i>et al.</i> (2017)
BRS 610 - C2 [#]	105	256,1	101,3	199,5	3,73	Neto <i>et al.</i> (2017)
BRS 610 - C1*	71	269,4	-	-	-	Perazzo <i>et al.</i> (2017)
BRS 610 - C2*	80	220,6	-	-	-	Perazzo <i>et al.</i> (2017)
BRS 610	*	233,5	54,1	133,5	3,44	Pinho <i>et al.</i> (2015)
BRS 810	*	211,3	64,1	190,5	3,08	Pinho <i>et al.</i> (2015)
Volumax - C1*	71	313,1	-	-	-	Perazzo <i>et al.</i> (2017)
Volumax - C2*	80	269,4	-	-	-	Perazzo <i>et al.</i> (2017)
BR 601 [#]	119	310,5	59,7	-	3,59	Macedo <i>et al.</i> (2012)
<i>S. bicolor</i>	*	275,2	53,6	164,1	3,92	Filya; Sucu (2007)

MS: matéria seca; PB: proteína bruta; pH: potencial hidrogeniônico; CHOs: carboidratos solúveis; C1: primeiro corte; C2: segundo corte. [#]grão no estágio farináceo duro. *grão no estágio leitoso/pastoso. ¹valor obtido após abertura final dos silos.

Além disso, estruturalmente, tem-se nos cultivares forrageiros maior proporção de colmos, o que incrementa ainda mais a umidade dessas plantas (PERAZZO *et al.*, 2013, 2017). Assim, uma silagem exclusivamente de sorgo pode ter altas perdas de MS em função dos efluentes produzidos, como evidenciado por Santos *et al.* (2018) avaliando silagens de sorgo com perdas por efluentes de mais de 100 kg de massa fresca t⁻¹.

Não apenas a umidade, mas a alta concentração de carboidratos solúveis (CHOs) tornase um problema no sorgo destinado à ensilagem. Isso porque estas substâncias são convertidas anaerobicamente, em sua grande maioria, à ácido lático pelas bactérias ácido lácticas (BAL). A produção de silagem depende desse tipo de fermentação, pois a produção deste ácido diminui o pH e acaba inibindo os demais microrganismos indesejáveis. Como há um excesso de carboidratos solúveis, há uma acidificação excessiva o que proporciona o ambiente necessário para algumas leveduras ácido tolerantes (MUCK, RICHARD E., 2010; PAHLOW *et al.*, 2003).

Estas leveduras são responsáveis também por grandes perdas fermentativas, uma vez que o produto de sua fermentação é o etanol. Esta substância, quando presente na silagem, causa uma diminuição no consumo animal e sua produção no interior do silo resulta na produção de gás carbônico (CO₂), ocasionando perdas consideráveis de energia e menor recuperação de MS (PAHLOW *et al.*, 2003; ROOKE; HATFIELD, 2003).

Por se tratar de uma gramínea tropical, o teor de proteína bruta (PB) do sorgo é baixo, como pode ser visto na Tabela 1. De acordo com Van Soest (1994), são necessários no mínimo 70 g kg⁻¹ de PB para um adequado funcionamento ruminal. Assim, deve ser considerado uma suplementação proteica ao fornecer estas silagens para os animais ou, utilizar aditivos nutricionais que possam aumentar o teor proteico das silagens. Desse modo, a preparação das

silagens aditivadas é facilitada como também o fornecimento destas silagens torna-se mais prático, pois não haveria necessidade de realizar a mistura diária do concentrado proteico na ração.

2.3 Potencial da torta de algodão como aditivo

O algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) é cultivado em vários países do mundo e, no Brasil, encontra-se principalmente nas regiões Centro-Oeste e Nordeste. Após a remoção da pluma pela indústria têxtil sobra o caroço, o qual é utilizado na indústria alimentícia para produção de óleo vegetal. Os subprodutos gerados em seguida são usados na alimentação animal, sendo os mais difundidos o farelo e a torta de algodão, ambos com significativo valor nutritivo (rico em proteína e gordura) (PAIM et al., 2010).

O aumento da produção de algodão propicia uma maior quantidade de caroço, aumentando também a disponibilidade dos outros subprodutos oriundos desse processo. Dentre os subprodutos destaca-se a torta de algodão pelo seu preço mais baixo que o farelo de algodão, uma vez que não é processado fino como o último. Com relação ao farelo de soja a diferença de preço é muito grande e a torna um concentrado proteico de ótimo custo-benefício (BARROS et al., 2006).

A torta de algodão origina-se da extração de óleo da semente do algodão por prensagem, dando o conhecido aspecto do produto. Contém alto teor de energia, proteína bruta e baixa concentração de lisina quando comparada ao farelo de soja, porém os demais aminoácidos essenciais estão presentes em quantidades aceitáveis (FERREIRA et. al, 2019). Estes produtos têm sido usados como alternativa na alimentação animal, principalmente em suplementos e dietas de bovinos na época seca do ano (OLIVEIRA, 2010). A composição bromatológica da torta de algodão apresenta em média 29% de proteína bruta, 9% de extrato etéreo, 55% de fibra em detergente neutro (FDN) e digestibilidade da FDN de 73% (VALADARES FILHO et al., 2006).

Por ter um baixo custo se comparado aos demais concentrados proteicos e possuir alto teor de MS, a torta de algodão tem grande potencial para ser usada como aditivo nutricional na ensilagem do sorgo, aumentando tanto o teor proteico da silagem como o teor de matéria seca. Dessa forma, a suplementação proteica diária poderia ser dispensada uma vez que o concentrado já estaria sendo fornecido juntamente a silagem. Ainda, o aumento da MS da silagem aditivada resultaria em menores perdas por efluentes uma vez que seria possível atingir facilmente os valores de MS preconizados por McDonald *et al.* (1991), ou seja, entre 300 e 350 g kg⁻¹.

Alguns autores demonstraram o potencial tamponante de substâncias nitrogenadas quando utilizadas na ensilagem (PINHO *et al.*, 2013; SANTOS *et al.*, 2018; ZANINE *et al.*, 2007). Por essa razão, a torta de algodão seria importante não só melhorando nutricionalmente as silagens, mas teria um papel crucial durante a fermentação, atuando como agente tamponante do meio. Tal efeito é interessante para inibir a atividade das leveduras ácidotolerantes, evitando assim que haja perdas de energia pela fermentação etanólica destas silagens.

É importante salientar que, por ser derivado do algodão, a torta de algodão possui um composto antinutricional: o gossipol. Tal substância atua negativamente na nutrição e reprodução dos animais. Sendo assim, é importante levar em consideração o potencial do uso da torta de algodão, buscando a inclusão ideal da mesma na alimentação de ruminantes podendo haver a possibilidade da torta de algodão ser detoxificada no processo de ensilagem (GADELHA *et al.*, 2014; NAGALAKSHMI *et al.*, 2007). Como o gossipol é uma substância que reage facilmente com ácidos, ele pode reagir com os ácidos produzidos na fermentação e assim tornar-se inativo (KENAR, 2006; PELITIRE; DOWD; CHENG, 2014).

3 METODOLOGIA

3.1 Local do experimento

O sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) cultivar BRS Ponta Negra, foi cultivado na cidade de Barra de Santana – PB (07° 31' 13" S, longitude 35° 59' 59" W, altitude 350 m) sob condições de irrigação. O solo é adubado frequentemente com esterco bovino e por isso, não foi necessário realizar a correção da acidez nem aplicar adubos.

O sorgo foi colhido no estágio de grão pastoso e foi transportado até o Laboratório de Forragicultura, no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba – Campus II - Areia, para a ensilagem.

3.2 Montagem do experimento

Os silos experimentais foram confeccionados com tubos de PVC possuindo 10 cm de diâmetro e 40 cm de altura, sendo vedados nas duas extremidades com tampas de PVC. Na parte superior de cada silo, foi adaptada uma válvula tipo Bunsen, visando a eliminação dos gases produzidos durante a fermentação. Foram adicionados 0,8 kg de areia nos silos com tecido TNT para separar a areia da silagem, permitindo assim a drenagem dos efluentes.

A forragem foi moída no dia 30 de março de 2019 em ensiladeira estacionária com partículas de aproximadamente 2 cm, seguindo-se da mistura com a torta de algodão nos diferentes níveis estabelecidos conforme os tratamentos. Feito isso, material foi compactado nos silos experimentais com bastões de madeira até atingir a densidade de, aproximadamente, 500 kg m⁻³. Os silos foram abertos aos 55 dias após a ensilagem, no dia 25 de maio de 2019.

3.3 Delineamento experimental

Foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado, com 5 tratamentos e 4 repetições, totalizando 20 silos. Os tratamentos foram considerados como sendo os diferentes níveis de torta de algodão nas silagens de sorgo, com a inclusão expressa em matéria natural.

Os tratamentos foram arrançados da seguinte forma:

1. T1 = apenas sorgo forrageiro;
2. T2 = sorgo forrageiro + 5% de torta de algodão;
3. T3 = sorgo forrageiro + 10% de torta de algodão;
4. T4 = sorgo forrageiro + 20% de torta de algodão;
5. T5 = sorgo forrageiro + 40% de torta de algodão.

3.4 Mensurações

No dia da ensilagem (0d) e na abertura dos silos (55d), o material da superfície foi descartado e homogeneizado, realizando-se as coletas do material para análise de microbiologia, pH e nitrogênio amoniacal (N-NH₃). No dia da abertura, todos os silos tiveram seu peso contabilizado. Após as coletas, o material restante foi realocado no interior dos silos, sem compactação, para avaliação da estabilidade aeróbia. Os procedimentos metodológicos de cada análise realizada estão descritos detalhadamente a seguir.

Na análise de microbiologia foram feitas diluições em série das silagens numa faixa de 10¹ a 10⁻⁶, sendo utilizadas placas de Petri estéreis no plaqueamento. Os meios de cultura usados são seletivos para cada grupo de microrganismo. As BAL foram isoladas em meio ágar De Man, Rogosa e Sharpe (MRS) (KASVI, Conda S.A., Espanha), acidificadas com 1,4% de ácido acético. Os mofos e leveduras (ML) foram isolados em meio de cultura BDA (Batata-Dextrose-Agar) adicionando-se ácido tartárico à 10%. Ambos os grupos foram incubados em BOD à 35 °C, onde as contagens de BAL e ML foram realizadas 48 h e 72 h após a incubação, respectivamente. As colônias foram contadas em placas que tinham de 30 a 300 unidades formadoras de colônia (UFC).

As mensurações do pH foram realizadas com auxílio de um potenciômetro, utilizando-se amostras de 25 g de cada repetição adicionando 100 mL de água destilada, seguindo de repouso por 1 hora (BOLSEN *et al.*, 1992).

Para determinar o N-NH₃ foi utilizada a técnica da solução acidificada com ácido sulfúrico (0,05 N) realizando-se as leituras em espectrofotômetro, conforme metodologia descrita por Vieira (1980).

Foram coletadas amostras de aproximadamente 250 g para realização das análises bromatológicas, sendo estas imediatamente colocadas em estufa de circulação forçada de ar à 65 °C por 72 h. Após esse período, anotou-se os pesos e seguiu-se com a moagem do material em moinho tipo facas com partículas de 1 mm. O material foi acondicionado em recipientes vedados para impedir a absorção de umidade. As concentrações de MS (método 934.01) e MM (método 930.05) foram analisadas conforme o AOAC (1990), enquanto os carboidratos solúveis foram determinados conforme Dubois *et al.* (1956). Ainda serão realizadas as análises de PB (método 984.13), EE (método 920.85) (AOAC, 1990) e FDN (MERTENS, 2002).

As perdas de matéria seca serão quantificadas por diferenças de peso conforme as equações abaixo descritas por Zanine *et al.* (2010):

PG: $(PSF - PSA)/(MFf \times MFSf) \times 1000$, onde PG = perda por gases (%MS); PSF = peso do silo na ensilagem (fechado) (kg); PSA = peso do silo na abertura (fechado); MFf = massa de forragem na ensilagem (kg); MFSf = matéria seca da forragem na ensilagem (%);

PE: $(SAf - S) - (SAa - S)/MFf \times 100$, onde PE = perdas por efluentes; SAf = peso do silo vazio + areia na abertura (kg); SAa = peso do silo vazio + areia na ensilagem (kg); S = peso do silo (kg); MFf = massa de forragem na ensilagem (kg);

RMS = $(MFa \times MSa)/(MFf \times MSf) \times 100$, onde RMS = recuperação de matéria seca (%); MFa = massa de forragem na abertura (kg); MSa = teor de MS na abertura (%); MFf = massa de forragem na ensilagem (kg); MSf = teor de MS na ensilagem (%).

Para determinação da estabilidade aeróbia, as amostras foram coletadas no momento da abertura dos silos e realocadas em silos limpos, sem necessidade de compactação. Dois termômetros foram acoplados no centro da massa de cada silo e a temperatura foi registrada a cada 30 minutos. A temperatura ambiente foi mantida sob controle, à 25 °C. A estabilidade aeróbia foi calculada como sendo o número de horas que a massa ensilada permanece com até 2°C acima da temperatura ambiente (TAYLOR; KUNG JR, 2002).

3.5 Análise estatística

Os dados da microbiologia foram transformados em \log_{10} e apresentados nas tabelas com base na matéria fresca. Todos os dados foram submetidos à análise de variância e de regressão, ambos com nível de significância de 5%, com auxílio do procedimento de modelos lineares gerais (PROC GLM) do pacote estatístico SAS v. 9.0 (SAS, 2004). Os modelos de regressão foram selecionados com base na significância dos parâmetros estimados pelos modelos e pelos valores dos coeficientes de determinação (R^2).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No momento da ensilagem observa-se que o teor de matéria seca (MS) e pH aumentaram, enquanto os carboidratos solúveis (CHOs) diminuiram à medida que se adicionou torta de algodão nas silagens (Tabela 2). No presente trabalho teve-se como intuito explorar o efeito da torta de algodão como aditivo nutricional, uma vez que o sorgo possui baixo teor de MS e alta concentração de CHOs, o que levaria a problemas fermentativos, alta acidificação do meio e aumento das perdas por gases, como também maiores perdas por efluentes.

Assim, o aumento do teor de MS junto à diminuição dos CHOs de 20,2% (apenas sorgo) para 10,17% (sorgo + 40% torta) demonstra a eficácia da mistura, diminuindo a quantidade de substrato para fermentação. Nos níveis de 20 e 40% o teor de CHOs encontrase na faixa preconizada como ideal de 6 a 12%, sendo uma quantidade suficiente para a fermentação, o que minimiza a quantidade residual de CHOs ao final do processo fermentativo (MCDONALD; HENDERSON; HERON, 1991). Com relação ao pH nota-se que houve um leve aumento em função da inclusão da torta de algodão, pois a mesma possui pH mais próximo da neutralidade.

Tabela 2. Matéria seca, carboidratos solúveis (CHOs) e pH em silagens de sorgo com níveis de torta de algodão no momento da ensilagem

Variável	Níveis de torta de algodão (%)				
	0	5	10	20	40
Matéria seca (%)	29,56	31,35	34,48	44,53	51,60
Carboidratos (%)	20,20	18,83	16,87	12,02	10,17
pH	5,31	5,42	5,51	5,63	5,73

Na abertura dos silos verificou-se a mesma tendência da ensilagem, com aumento da matéria seca, e uma diminuição do pH em relação à ensilagem, fato já esperado, devido à conversão dos CHOs em ácidos orgânicos (Tabela 3). O pH aumentou ($P < 0,0001$) de forma linear em função dos níveis de torta de algodão (Tabela 3). Com isso, fica claro o potencial da torta de algodão como aditivo nutricional capaz de tamponar o meio, onde os tratamentos com 20 e 40% de inclusão de torta tiveram os valores de pH entre 3,8 a 4,2 (MCDONALD; HENDERSON; HERON, 1991), considerado ideal para predominância de bactérias lácticas durante a fermentação. As demais silagens tiveram valores abaixo de 3,8 indicando que o nível de torta na mistura não foi suficiente para tamponar o meio causando acidificação excessiva (NGUYEN *et al.*, 2002).

Tabela 3. pH, carboidratos solúveis residuais, nitrogênio amoniacal e matéria seca de silagens de sorgo com níveis de torta de algodão abertas aos 55 dias

Variáveis	Níveis de torta de algodão (% MN)					EPM	Probabilidade	
	0	5	10	20	40		Linear	Quadrático
pH ^a	3,64	3,64	3,71	3,86	4,09	0,04	0,0006	<0,0001
CHOSr (%) ^b	2,95	1,90	0,52	0,86	0,74	0,23	<0,0001	0,0021
N-NH ₃ (%MS) ^c	0,12	0,19	0,22	0,24	0,26	0,01	<0,0001	0,0649
MS (%) ^d	<u>26,01</u>	<u>28,92</u>	<u>31,39</u>	<u>37,32</u>	<u>51,30</u>	<u>2,07</u>	<0,0001	0,0001
Equações de regressão								
^a $\hat{Y} = 3,7270 - 0,1179.X$ $R^2 = 0,9658$ ^b $\hat{Y} = 4,8215 - 2,0779.X$ $R^2 =$ $0,7670$ ^c $\hat{Y} = 0,0583 + 0,0791.X$ $R^2 = 0,7654$ ^d $\hat{Y} = 30,0935 - 5,0745.X$ $R^2 = 0,9712$								

^bCHOSr = carboidratos solúveis; ^cN-NH₃ = nitrogênio amoniacal; ^dMS = matéria seca; EPM = erro-padrão da média.

Os carboidratos residuais (CHOSr) tiveram efeito linear e quadrático, porém, similarmente ao pH, o ajuste dos dados ficou mais apropriado na equação linear (Tabela 3). A diminuição do teor de CHOs já na ensilagem resultou em diminuição linear também nos carboidratos residuais (pós-fermentação), os quais ocorrem em maior quantidade no sorgo. Por conta do alto teor proteico da torta de algodão, as silagens com 20 e 40% de inclusão de torta tiveram os menores valores de carboidratos. As demais silagens tiveram valores mais altos, indicando que a inclusão de torta não foi suficiente para reduzir a proporção inicial de CHOs nem de tamponar o meio, resultando em acidificação excessiva.

O teor de nitrogênio amoniacal (N-NH₃) na abertura dos silos aumentou linearmente ($P < 0,0001$) à medida que se incluiu a torta de algodão (Tabela 3). Isso é explicado pela maior quantidade de proteína/nitrogênio no interior do silo prestes a ser fermentado e, com a acidificação mais lenta devido ao tamponamento do meio, há maior proteólise, como pode ser observado nos tratamentos com maiores níveis de torta. Em contrapartida, nos tratamentos com mais CHOs e mais ácidos (Tabela 2) o teor de N-NH₃ foi menor (Tabela 3). A alta proteólise não é um atributo desejável para silagens, uma vez que há diminuição do conteúdo de proteína da silagem e perde-se um nutriente caro pela volatilização na forma de N-NH₃ (DA SILVA *et al.*, 2017; PAHLOW *et al.*, 2003).

Na Tabela 4 foram organizados os dados relativos à microbiologia das silagens estudadas. Com relação as contagens de BAL e mofos observou-se efeito quadrático ($P < 0,0001$ e $P = 0,0042$, respectivamente) enquanto as leveduras tiveram efeito linear decrescente ($P < 0,0001$) (Tabela 4). Conforme aumentou o nível da torta de algodão a população de BAL aumentou até um nível máximo (20% inclusão) diminuindo em seguida. Este crescimento ocorreu, possivelmente, pelo maior conteúdo proteico das silagens, que podem ter servido como substrato para as BAL, ao passo que o teor de gossipol não interferiu no crescimento, com

provável inativação do mesmo por estas bactérias (RAMOS *et al.*, 2011). Em contrapartida, a diminuição no crescimento das BAL após os 20% de inclusão, pode ser explicado pela diminuição da atividade de água em função do alto teor de MS das silagens até atingir o máximo de 40% de torta (PAHLOW *et al.*, 2003).

Tabela 4. Contagens microbianas de silagens de sorgo com níveis de torta de algodão abertas aos 55 dias

Variáveis	Níveis de torta de algodão (% MN)					EPM	Probabilidade	
	0	5	10	20	40		Linear	Quadrático
BAL ^a	5,21	6,17	6,98	7,69	5,24	0,2326	0,1097	<0,0001
Mofos ^b	2,92	3,91	3,90	3,37	3,21	0,1244	0,9513	0,0042
Leveduras ^c	5,21	3,64	2,54	0,00	0,00	0,4967	<0,0001	0,3242
Equações de regressão								
^a $\hat{Y} = 2,3325 + 3,1210.X - 0,4939.X^2$			$R^2 = 0,7121$			^b $\hat{Y} = 2,0370 +$		
$1,2195.X - 0,2025.X^2$			$R^2 = 0,3903$			^c $\hat{Y} = 7,3555 - 2,1374.X$		
						$R^2 = 0,8543$		

^{abc}Log UFC g⁻¹ silagem; BAL = bactérias ácido lácticas; EPM = erro-padrão da média.

Além disso, a inibição das BAL no nível máximo de inclusão da torta pode ter acontecido em resposta ao aumento concomitante da concentração de gossipol. Margalith (1967) relata algumas espécies bacterianas susceptíveis à toxidez por gossipol, inclusive algumas BAL. Este efeito antagonista ao crescimento se dá pela própria estrutura bacteriana, pois espécies Gram-Positivas (como as BAL), transportam mais facilmente o gossipol ao seu interior por não terem uma membrana externa como as Gram-Negativas (KESHMIRINEGHAB; GOLIAEI, 2014). Ainda, Yildirim-Aksoy *et al.* (2004) reportaram diminuição significativa do crescimento de *Edwardsiella ictaluri* (bactéria Gram-Positiva) quando submetida à diferentes fontes e doses de gossipol. Desse modo, faz-se necessário concluir as análises para determinar o teor de gossipol das silagens para confirmar tais suposições.

Com relação aos mofos observa-se que as contagens foram similares entre si (Tabela 4), o que pode ser explicado pela capacidade de formação de esporos dos fungos, permitindo seu rápido crescimento ao haver condições de aerobiose (ROOKE; HATFIELD, 2003; WILKINSON; DAVIES, 2013). De acordo com relatos na literatura, várias espécies fúngicas metabolizam o gossipol e, por esta razão, isso explique a pouca variação nas contagens (YANG *et al.*, 2012; ZHANG, WEN-JU *et al.*, 2006; ZHANG, WEN JU *et al.*, 2007).

Observou-se um decréscimo linear ($P < 0,0001$) nas contagens de leveduras conforme aumentou a inclusão da torta de algodão (Tabela 4). Este fenômeno ocorreu pelo tamponamento do meio promovido pela torta de algodão, onde o pH ficou acima de 3,7 nas silagens com mais

de 10% de torta (Tabela 3) e, como as leveduras ácido-tolerantes se propagam mais facilmente numa faixa de pH menor que 3,5, o tamponamento levou à sua inibição (PAHLOW *et al.*, 2003). Associado a isso, tem-se um efeito inibitório também do gossipol sobre as leveduras (ARINBASAROVA; MEDENTSEV; KRUPYANKO, 2012; MARGALITH, 1967).

As perdas por gases e efluentes da silagem diminuíram de forma linear ($P < 0,0001$), enquanto a recuperação de matéria seca teve efeito linear crescente à medida que se incluiu sorgo (Tabela 5). Observa-se uma relação inversa entre as perdas e a recuperação de matéria seca, ou seja, quanto menores as perdas maior é a recuperação de MS, e vice-versa.

Tabela 5. Perdas por gases (PG), perdas por efluentes (PE) e recuperação de matéria seca (RMS) em silagens de sorgo com níveis de torta de algodão abertas aos 55 dias

Variáveis	Níveis de torta de algodão (% MN)					Probabilidade						
	EPM											
	0	5	10	20	40	Linear	Quadrático	PG (% MS) ^a	4,57	0,2161	<0,0001	0,0095
PE (kg MF t ⁻¹) ^b	100,39	90,59	67,02	13,39	2,33	9,2648					<0,0001	0,2458
RMS (%) ^c	88,61	89,23	91,72	96,77	98,46	0,9371					<0,0001	0,0804
Equações de regressão												
	^a $\hat{Y} = 4,3245 + 0,4207.X$										$R^2 = 0,9052$	
	^b $\hat{Y} = 121,0735 - 14,0502.X$										$R^2 = 0,8278$	
	^c $\hat{Y} = 87,1450 + 0,7090.X$										$R^2 = 0,9070$	

Esses resultados são dependentes das características fermentativas das silagens, que variam de acordo com a quantidade de aditivo nutricional adicionado à mistura. Desse modo, nota-se que as perdas por gases tem uma estreita relação com a microbiologia das silagens, em que as vias heterofermentativas realizadas pelas leveduras são as que mais propiciam perdas de matéria seca (Tabela 4 e a Tabela 5). Tais perdas ocorrem porque as leveduras realizam a conversão dos CHOs em etanol e produzem CO₂, que leva à perdas de matéria seca da ordem de 48%, segundo a equação disposta a seguir:



Por esta razão, a via homofermentativa é a mais desejável nas silagens, pois proporciona maiores recuperações de matéria seca e, conseqüentemente, menores perdas de energia (DA SILVA *et al.*, 2017; ROOKE; HATFIELD, 2003). Com a adição da torta de algodão houve maior tamponamento do meio o que inviabilizou o desenvolvimento das leveduras resultando em menores perdas por gases (Tabela 5).

A adição da torta de algodão minimizou as perdas por efluentes (Tabela 5), justamente pelo maior teor de matéria seca da torta de algodão que, ao realizar-se a mistura dos ingredientes, verificou-se aumento linear (Tabela 3). A retenção da umidade excedente presente no sorgo foi satisfatória, pois reduziu de maneira significativa os efluentes da silagem (de 100,39 para 3,65 kg MF t⁻¹), sendo isso um bom resultado, uma vez que os efluentes carregam nutrientes para o fundo do silo que não são aproveitados quando utiliza-se estas silagens na alimentação animal (VIANA *et al.*, 2013).

Com relação à recuperação de matéria seca percebe-se um aumento linear ($P < 0,0001$) conforme se aumentou o nível de torta de algodão nas silagens (Tabela 5). Devido à diminuição da perdas por gases e efluentes a tendência esperada era de se aumentar a recuperação, pois nas silagem de sorgo (0% torta) tinha-se uma recuperação de 88,61% e atingiu-se um valor de 98,46%. Estes resultados demonstram a viabilidade da torta de algodão como aditivo nutricional capaz de reduzir drasticamente as perdas e melhorar a recuperação de matéria seca.

A estabilidade aeróbia das silagens aumentou linearmente ($P < 0,0001$) conforme incluiu torta de algodão nas silagens, (Tabela 6). Este efeito é relacionado à microbiologia, ao teor de CHOsr e do pH das silagens, pois onde há predominância da fermentação láctica, há menores valores de pH resultado da acidificação do meio. Com isso, há desenvolvimento de leveduras nesse meio e, ao abrir estes silos, tem-se mais substrato para o desenvolvimento dos microrganismos deterioradores, como as leveduras, que são os iniciadores da deterioração aeróbia, proliferando-se rapidamente na massa exposta ao ar oxidando CHOsr e ácido láctico para obtenção de energia (MUCK, *et al.*, 2018; WILKINSON; DAVIES, 2013).

Tabela 6. Estabilidade aeróbia e temperatura máxima em silagens de sorgo com níveis de torta de algodão abertas aos 55 dias

Variáveis	Níveis de torta de algodão (% MN)					EPM	Probabilidade	
	0	5	10	20	40		Linear	Quadrático
					88,87			
Tempo ^a	35	37	53	78		5,06	<0,0001	0,0575
Tmax ^b	30,12	29,00	28,63	<u>28,62</u>	<u>28,12</u>	2,89	<0,0001	0,1237

Equações de regressão

$${}^a\hat{Y} = 27,9250 + 2,7821.X \quad R^2 = 0,9074 \quad {}^b\hat{Y} = 31,0250 - 1,1339.X \quad R^2 = 0,6324$$

^aTempo necessário (horas) para as silagens apresentarem quebra da estabilidade aeróbia (temperatura acima de 2°C em relação à temperatura ambiente). ^bTemperatura máxima (°C) do primeiro pico de aquecimento das silagens num período de 96 horas, mantidas em temperatura ambiente a 25 °C.

Como as silagens contendo mais torta de algodão promoveram o tamponamento do meio e tiveram menor teor de CHOsr (Tabela 3), houve então uma melhoria da estabilidade pela

inibição das leveduras durante o processo fermentativo. Como a oxidação dos substratos é um processo aeróbio exotérmico, percebe-se aumentos na temperatura das silagens em deterioração (KUNG; RANJIT, 2001; TAYLOR; KUNG, 2002; WILKINSON; DAVIES, 2013). Em consequência, a temperatura das silagens torna-se mais elevada com o passar do tempo, no entanto, como as silagens do presente trabalho tiveram menor quantidade de substrato (CHOs e ácido láctico) na abertura a tendência das temperaturas máximas foi de diminuir linearmente nas silagens mistas com maior teor de torta de algodão (Tabela 6).

Santos *et al.* (2018) e Weinberg *et al.* (2011) avaliando silagens de sorgo com e sem aditivos microbianos e químicos, observaram aumentos significativos nas temperaturas das silagens com o passar do tempo de exposição das silagens ao ar. Os autores relataram ainda mudanças notáveis na microbiologia dessas silagens ao longo do tempo, com incremento das populações de leveduras, mofos e bactérias aeróbias, resultando em aumento do pH e diminuição da qualidade da silagem. Com base nisso, nota-se a qualidade das silagens do presente trabalho, pois passaram mais de três dias (20 e 40% de torta) mantendo-se 2 °C abaixo da temperatura ambiente (Tabela 6), enquanto Santos *et al.* (2018) relataram quebra da estabilidade das silagens de sorgo com menos de 12 h de exposição ao ar.

5 CONCLUSÃO

A utilização da torta de algodão como aditivo nutricional é satisfatória, pois tamponou o meio, reduziu as perdas fermentativas, aumentou a recuperação de matéria seca e melhorou a estabilidade aeróbia das silagens aditivadas. Nos níveis avaliados no presente trabalho, recomenda-se a utilização de 20% de inclusão da torta de algodão por apresentar as melhores características.

REFERÊNCIAS

- AOAC. *Official Methods of Analysis: Changes in Official Methods of Analysis Made at the Annual Meeting. Supplement*. [S.l.]: Association of Official Analytical Chemists, 1990. v. 15.
- ARINBASAROVA, Anna Yu; MEDENTSEV, Alexander G; KRUPYANKO, Vladimir I. Gossypol Inhibits Electron Transport and Stimulates ROS Generation in *Yarrowia lipolytica* Mitochondria. *The Open Biochemistry Journal*, v. 6, p. 11–15, 2012.
- CÂMARA, Antônio Carlos Lopes *et al.* Toxicity of gossypol from cottonseed cake to sheep ovarian follicles. *PLoS ONE*, v. 10, n. 11, p. 1–11, 2015.
- DA SILVA, Thiago Carvalho *et al.* Importance of the Fermentation to Produce High-Quality Silage. *Fermentation Processes*. [S.l.]: InTech, 2017. p. 1–20. Disponível em: <<https://www.intechopen.com/books/advances-in-silage-production-and-utilization>>.
- DANIEL, João Luiz Pratti *et al.* Production and utilization of silages in tropical areas with focus on Brazil. *Grass and Forage Science*, n. February, p. 1–13, 2019.
- DIAS, Elyane Cristina Borges *et al.* Nutritive value of elephant grass silage added with cottonseed cake in diet for sheep. *Revista Ciência Agronômica*, v. 50, n. 2, p. 321–328, 2018.
- DUBOIS, Michel *et al.* Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substances. *Analytical Chemistry*, v. 28, n. 3, p. 350–356, 1956.
- FILYA, Ismail; SUCU, Ekin. The effect of bacterial inoculants and a chemical preservative on the fermentation and aerobic stability of whole-crop cereal silages. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, v. 20, n. 3, p. 378–384, 2007.
- GADELHA, Ivana Cristina N. *et al.* Gossypol toxicity from cottonseed products. *Scientific World Journal*, v. 2014, n. Figure 1, p. 4–6, 2014.
- KENAR, James A. Reaction chemistry of gossypol and its derivatives. *JAACS, Journal of the American Oil Chemists' Society*, v. 83, n. 4, p. 269–302, 2006.
- KESHMIRI-NEGHBAB, Hoda; GOLIAEI, Bahram. Therapeutic potential of gossypol: An overview. *Pharmaceutical Biology*, v. 52, n. 1, p. 124–128, 2014.
- KUNG, L.; RANJIT, N.K. The Effect of *Lactobacillus buchneri* and Other Additives on the Fermentation and Aerobic Stability of Barley Silage. *Journal of Dairy Science*, v. 84, n. 5, p. 1149–1155, 2001. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(01\)74575-4](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)74575-4)>.
- MACEDO, C. H. O. *et al.* Fermentation characteristics and chemical composition of sorghum silage in function of nitrogen fertilization. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v. 13, n. 2, p. 371–382, 2012. Disponível em: <<http://www.rbspa.ufba.br>>.
- MARGALITH, P. Inhibitory Effect of Gossypol on Microorganisms. v. 15, n. 4, p. 952–954, 1967.
- MCDONALD, P. J.; HENDERSON, A. R.; HERON, S. J. E. *The Biochemistry of Silage*. 2nd. ed. Marlow, Bucks, UK: Cambridge University Press, 1991. Disponível em:

- <<https://www.cambridge.org/core/article/biochemistry-of-silage-2nd-edn-by-p-mcdonald-a-rhenderson-s-j-e-heron-340-pp-kingston-kent-chalcombe-publications-1991-4950-uk-5500elsewhere-hardback-isbn-0-948617-22-5/047CE253EE0D2B4E9BFA9E8E250BF57B>>.
- MERTENS, David R. Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beakers or crucibles: collaborative study. *Journal of AOAC international*, v. 85, n. 6, p. 1217–1240, 2002.
- MUCK, R.E. *et al.* Silage review: Recent advances and future uses of silage additives. *Journal of Dairy Science*, v. 101, n. 5, p. 3980–4000, 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3168/jds.2017-13839>>.
- MUCK, Richard E. Silage microbiology and its control through additives. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 39, n. suppl spe, p. 183–191, 2010.
- NETO, Arthur Behling *et al.* Fermentation characteristics of different purposes sorghum silage. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 38, n. 4, p. 2607–2618, 2017.
- NGUYEN, Viet Anh Thi *et al.* Isolation and Identification of New Acid-tolerant and Starchdegradable Yeasts. *Journal of Applied Glycoscience*, v. 49, n. 2, p. 153–157, 2002.
- PAHLOW, Günter. *et al.* Microbiology of Ensiling. *Silage Science and Technology*. Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, 2003. p. 63. Disponível em: <<https://dl.sciencesocieties.org/publications/books/abstracts/agronomymonogra/silagesciencean/31>>.
- PELITIRE, Scott M.; DOWD, Michael K.; CHENG, H. N. Acidic solvent extraction of gossypol from cottonseed meal. *Animal Feed Science and Technology*, v. 195, p. 120–128, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.06.005>>.
- PERAZZO, Alexandre Fernandes *et al.* Agronomic Evaluation of Sorghum Hybrids for Silage Production Cultivated in Semiarid Conditions. *Frontiers in Plant Science*, v. 8, n. June, p. 1–8, 2017.
- PERAZZO, Alexandre Fernandes *et al.* Características agrônômicas e eficiência do uso da chuva em cultivares de sorgo no semiárido. *Ciência Rural*, v. 43, n. 10, p. 1771–1776, 2013.
- PINHO, Ricardo Martins Araujo *et al.* Avaliação de genótipos de milho para silagem no semiárido. *Revista Brasileira de Saude e Producao Animal*, v. 14, n. 3, p. 426–436, 2013.
- PINHO, Ricardo Martins Araujo *et al.* Sorghum cultivars of different purposes silage. *Ciência Rural*, v. 45, n. 2, p. 298–303, 2015.
- RAMOS, Cíntia Lacerda *et al.* Diversity of bacteria and yeast in the naturally fermented cotton seed and rice beverage produced by Brazilian Amerindians. *Food Microbiology*, v. 28, n. 7, p. 1380–1386, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.fm.2011.06.012>>.
- ROGERS, Glenn M.; POORE, Matthew H.; PASCHAL, Joe C. Feeding cotton products to cattle. *Veterinary Clinics of North America - Food Animal Practice*, v. 18, n. 2, p. 267–294, 2002.

ROOKE, John A.; HATFIELD, Ronald D. *Biochemistry of Ensiling*. 2003.

SANTOS, Ana Paula Maia Dos *et al.* Effects of urea addition on the fermentation of sorghum (*Sorghum bicolor*) silage. *African Journal of Range and Forage Science*, v. 35, n. 1, p. 55–62, 2018.

SAS. *SAS 9.0 user's guide*. [S.l.]: Sas Institute, 2004.

TAYLOR, C.C.; KUNG, L. The Effect of *Lactobacillus buchneri* 40788 on the Fermentation and Aerobic Stability of High Moisture Corn in Laboratory Silos. *Journal of Dairy Science*, v. 85, n. 6, p. 1526–1532, 2002. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.3168/jds.S00220302\(02\)74222-7](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S00220302(02)74222-7)>.

TURNER, Neil C. Turgor maintenance by osmotic adjustment: 40 years of progress. *Journal of Experimental Botany*, v. 69, n. 13, p. 3223–3233, 2018.

VAN SOEST, Peter J. *Nutritional ecology of the ruminant*. [S.l.]: Cornell university press, 1994.

VIANA, Pablo Teixeira *et al.* Losses and nutritional value of elephant grass silage with inclusion levels of cottonseed meal. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, v. 35, n. 2, p. 139–144, 2013.

WEINBERG, Zwi G. *et al.* Ensiling fermentation products and aerobic stability of corn and sorghum silages. *Grassland Science*, v. 57, n. 1, p. 46–50, 2011.

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.

YANG, Xia *et al.* Identification and proteomic analysis of a novel gossypol-degrading fungal strain. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 92, n. 4, p. 943–951, 2012.

YILDIRIM-AKSOY, P. *et al.* In vitro inhibitory effect of gossypol from gossypol-acetic acid, and (+)- and (-)-isomers of gossypol on the growth of *Edwardsiella ictaluri*. *Journal of Applied Microbiology*, v. 97, n. 1, p. 87–92, 2004.

ZANINE, Anderson De Moura *et al.* Evaluation of elephant grass silage with the addition of cassava scrapings. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 39, n. 12, p. 2611–2616, 2010.

ZANINE, Anderson De Moura *et al.* Populações microbianas e componentes nutricionais nos órgãos do capim-tanzânia antes e após a ensilagem. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 28, n. 1, p. 143, 2007.

ZHANG, Wen-ju *et al.* Effect of selected fungi on the reduction of gossypol levels and nutritional value during solid substrate fermentation of cottonseed meal. *Journal of Zhejiang University SCIENCE B*, v. 7, n. 9, p. 690–695, 2006.

ZHANG, Wen Ju *et al.* Development of a microbial fermentation process for detoxification of gossypol in cottonseed meal. *Animal Feed Science and Technology*, v. 135, n. 1–2, p. 176–186, 2007.

