

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

Micaela Jungbeck

**AVALIAÇÃO DE SILAGENS DE SORGO SUBMETIDAS A  
DIFERENTES NÍVEIS DE INOCULANTE BACTERIANO E PERÍODOS  
DE ESTOCAGEM**

Santa Maria, RS  
2021

**Micaela Jungbeck**

**AVALIAÇÃO DE SILAGENS DE SORGO SUBMETIDAS A DIFERENTES NÍVEIS  
DE INOCULANTE BACTERIANO E PERÍODOS DE ESTOCAGEM**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Zootecnia, Área de Concentração em Produção Animal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM-RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestra em Zootecnia**.

Orientador: Prof. Dr Julio Viégas

Santa Maria, RS  
2021

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001

Jungbeck, Micaela  
AVALIAÇÃO DE SILAGENS DE SORGO SUBMETIDAS A  
DIFERENTES NÍVEIS DE INOCULANTE BACTERIANO E PERÍODOS DE  
ESTOCAGEM / Micaela Jungbeck.- 2021.  
50 p.; 30 cm

Orientador: Julio Viégas  
Coorientador: Giovani Jacob Kolling  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós  
Graduação em Zootecnia, RS, 2021

1. Lactobacillus buchneri 2. Lactobacillus plantarum  
3. Pediococcus acidilactici 4. Propionibacterium  
acidipropionici 5. Qualidade de silagem I. Viégas, Julio  
II. Jacob Kolling, Giovani III. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

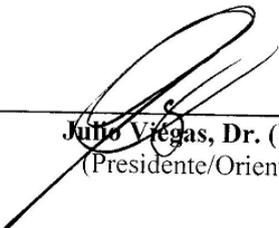
Declaro, MICAELA JUNGBECK, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

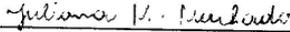
**Micaela Jungbeck**

**AVALIAÇÃO DE SILAGENS DE SORGO SUBMETIDAS A DIFERENTES NÍVEIS DE INOCULANTE BACTERIANO E PERÍODOS DE ESTOCAGEM**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Zootecnia, Área de Concentração em Produção Animal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM-RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestra em Zootecnia**.

**Aprovado em 25 de Agosto de 2021:**

  
\_\_\_\_\_  
**Julio Viégas, Dr. (UFSM) - Videoconferência**  
(Presidente/Orientador)

  
\_\_\_\_\_  
**Juliana Medianeira Machado, Dr<sup>a</sup>. (UFSM) - Videoconferência**

  
\_\_\_\_\_  
**Paula Montagner, Dr<sup>a</sup>. (UNICRUZ) - Videoconferência**

Santa Maria, RS  
2021

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida, pela família maravilhosa que me concedeu, pela saúde, força e proteção.

Agradeço aos meus pais, Cláudio e Irene, pelo trabalho, educação e caráter que nos passaram, que nunca mediram esforços para nos ver bem. Aos meus irmãos, Maiara, Rafael e Maísa, pelo apoio, aos meus sobrinhos, João e Laura, por trazerem alegria aos nossos dias. Ao meu namorado Charles, por todo amor, incentivo e paciência, abraços apertados, feliz por ter você como meu companheiro. Família, obrigada por me darem força para seguir o destino e chegar até aqui, superando vários obstáculos e não me deixando desistir. Amo vocês, muito!

Agradeço aos amigos, por sempre estarem presentes, apesar da distância, como foi nesse ano atípico, pelas conversas virtuais, carinho e amizade.

Agradeço ao meu orientador, Dr. Julio Viégas, pela orientação e confiança depositada para o desenvolvimento da pesquisa.

Agradeço ao meu coorientador, Dr. Giovani Jacob Kolling, pela disponibilidade e ajuda no desenvolvimento do trabalho.

Agradeço aos colegas de pós-graduação, Leonardo pela ajuda na elaboração da estatística do trabalho, a Stela e a Fabiana pela colaboração e apoio. E ao secretário do PPGZ Marcos, pelo auxílio e paciência.

Agradeço a Total Bio, pelo suporte financeiro para realização do trabalho.

Agradeço à CAPES, pelo auxílio financeiro aos estudos.

A todos, que de uma ou outra forma contribuíram para o êxito nessa conquista. Muito obrigada!

## RESUMO

### AVALIAÇÃO DE SILAGENS DE SORGO SUBMETIDAS A DIFERENTES NÍVEIS DE INOCULANTE BACTERIANO E PERÍODOS DE ESTOCAGEM

AUTORA: Micaela Jungbeck

ORIENTADOR: Julio Viégas

Com o objetivo de avaliar a composição nutricional e os parâmetros fermentativos de silagens de sorgo silageiro submetidas a diferentes níveis de inoculante bacteriano (controle, 7,5, 15, e 30 ml) e períodos de estocagem (20, 40 e 60 dias), foi conduzido um experimento na região da Depressão Central do Rio Grande do Sul. A pesquisa foi conduzida no período de janeiro a julho de 2015, sob delineamento experimental inteiramente casualizado em um arranjo fatorial 4x3 (4 níveis de inoculante e 3 períodos de estocagem), com 4 repetições. Foram observadas interações significativas entre os períodos de estocagem e os níveis de inclusão do inoculante bacteriano para RMS, ácido acético e DFDN. Quanto aos períodos de estocagem, houve diferença para pH, N-NH<sub>3</sub>, MM, PB, FDN, Lignina, CNF, EE, NDT e produção de leite. O ácido butírico e a MS foram influenciados pelos períodos de estocagem e os níveis de inoculante. As variáveis PE, PG, ácido láctico, amido e FDA não foram influenciadas pelos tratamentos. A RMS se aproximou de 99% quando inoculada a dose quatro vezes superior à recomendada, exceto nas silagens estocadas por 60 dias. O pH foi menor em 40 e 60 dias, presumindo que seu declínio ocorreu de forma rápida, e que foi determinante na melhor RMS. O valor nutricional e as variáveis fermentativas das silagens não apresentaram diferença entre 40 e 60 dias de estocagem. O aumento no tempo de estocagem altera o valor nutricional das silagens, elevando os níveis de N-NH<sub>3</sub> e FDN, bem como, reduzindo o teor de PB e lignina. A produção potencial de leite por tonelada de MS de silagem produzida aumentou com o período de estocagem. Relacionado com o aumento da MS e NDT, e redução da lignina. O valor nutricional e os parâmetros fermentativos das silagens apresentam o mesmo comportamento entre 40 e 60 dias de estocagem. Os tratamentos avaliados não influenciam as perdas por produção de efluentes e gases, bem como os teores de ácido láctico, amido e a fração FDA. Considerando os valores de MS, pH, ácido acético, ácido butírico e N-NH<sub>3</sub>, as silagens de sorgo produzidas se enquadram como bem fermentadas. Indicando perdas mínimas, sem prejuízo significativo no valor nutricional, quando conservada. A RMS foi superior quando utilizada a dose máxima do inoculante (30 ml). Levando em consideração esta variável para avaliar economicamente, o produtor obtém um retorno econômico, através da redução das perdas e, em produção de leite.

**Palavras-Chave:** *Lactobacillus buchneri*. *Lactobacillus plantarum*. *Pediococcus acidilactici* *Propionibacterium acidipropionici*. Qualidade de silagem.

## ABSTRACT

### EVALUATION OF SORGHUM SILAGE SUBMITTED TO DIFFERENT BACTERIAN INOCULANT LEVELS AND STORAGE PERIODS

AUTHOR: Micaela Jungbeck

ADVISOR: Julio Viégas

In order to evaluate the nutritional composition and fermentation parameters of sorghum silages subjected to different levels of bacterial inoculant (control, 7.5, 15, and 30 ml) and storage periods (20, 40 and 60 days), an experiment was conducted in the central region of Rio Grande do Sul. The research was conducted from January to July 2015, under a completely randomized experimental design in a 4x3 factorial arrangement (4 levels of inoculant and 3 storage periods), with 4 replications. Significant interactions were observed between storage periods x bacterial inoculant inclusion levels for RMS, acetic acid and NDFD. As for the storage periods, there were differences for pH, N-NH<sub>3</sub>, Ash, CP, NDF, Lignin, NFC, EE, TDN and milk production. Butyric acid and DM were influenced by storage periods and inoculant levels. The variables EP, GL, lactic acid, starch and ADF were not influenced by the treatments. RMS is approximately 99% when inoculated at a dose four times higher than recommended, except in silages stored for 60 days. The pH content was lower at 40 and 60 days, assuming that its decline occurred quickly, and that it helps to obtain the best RMS. The nutritional value and fermentation parameters of the silages did not dissipate difference between 40 and 60 days of storage. The treatments taken do not influence the losses due to the production of effluents and gases, as well as the levels of lactic acid, starch and the ADF fraction. Consider the DM, pH, acetic acid, butyric acid and N-NH<sub>3</sub> values, as produced sorghum silages fit as well fermented. Indicating minimal losses, without significant loss in nutritional value, when preserved. An RMS was higher when a maximum dose of inoculant (30 ml) was used. Taking into account this variable to evaluate economically, the production obtains an economic return, through the reduction of losses and, in milk production.

**Keywords:** *Lactobacillus buchneri*. *Lactobacillus plantarum*. *Pediococcus acidilactici* *Propionibacterium acidipropionici*. Silage quality.

## LISTA DE TABELAS

### ESTUDO BIBLIOGRÁFICO

Tabela 1 – Composição química da forragem verde e das silagens de milho e sorgo. .... 16

### ARTIGO – EFEITO DO TEMPO DE ARMAZENAMENTO E USO DE ADITIVO NA SILAGEM DE SORGO

Tabela 1 - Parâmetros fermentativos e perdas de silagens de sorgo submetidas a distintos períodos fermentativos e níveis de inoculante bacteriano. .... 28

Tabela 2 - Composição nutricional de silagens de sorgo submetidas a distintos períodos fermentativos e níveis de inoculante bacteriano. .... 33

Tabela 3 - Dados meteorológicos de temperatura e precipitação, ocorridas durante o período experimental. .... 35

Tabela 4 - Estimativa da produtividade de leite por hectare, de silagens de sorgo submetidas a distintos períodos fermentativos e níveis de inoculante bacteriano. .... 37

Tabela 5 - Análise econômica de silagens de sorgo submetidas a distintos períodos fermentativos e níveis de inoculante bacteriano. .... 38

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BAL	Bactérias Ácido Láticas
cm	Centímetro
g	Gramma
°C	Graus Celsius
GEAPA	Grupo de Estudos em Aditivos na Produção Animal
Ha	Hectare
m	Metro
ml	Mililitro
mm	Milímetro
NIRS	Near Infra Red Spectro
%	Porcentagem
pH	Potencial Hidrogeniônico
Kg	Quilograma
TNT	Tecido Não Tecido
Ton	Tonelada
UFC	Unidade Formadora de Colônia
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
UNICRUZ	Universidade de Cruz Alta

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
<b>1.1 HIPÓTESES.....</b>	<b>12</b>
<b>1.2 OBJETIVOS .....</b>	<b>12</b>
1.2.1 Objetivo geral .....	12
1.2.2 Objetivos específicos.....	12
2 ESTUDO BIBLIOGRÁFICO.....	14
<b>2.1 CONSERVAÇÃO DE FORRAGENS .....</b>	<b>14</b>
<b>2.2 CULTURA DO SORGO .....</b>	<b>15</b>
<b>2.3 PROCESSO DE ENSILAGEM.....</b>	<b>17</b>
<b>2.4 PERÍODO DE ARMAZENAMENTO .....</b>	<b>18</b>
<b>2.5 INOCULANTES NA SILAGEM .....</b>	<b>20</b>
3 ARTIGO - EFEITO DO TEMPO DE ARMAZENAMENTO E USO DE ADITIVO EM SILAGENS DE SORGO .....	23
<b>3.1 RESUMO.....</b>	<b>23</b>
<b>3.2 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>23</b>
<b>3.3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>24</b>
<b>3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>27</b>
<b>3.5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>38</b>
<b>3.6 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>39</b>
REFERÊNCIAS .....	44

## 1 INTRODUÇÃO

O alimento volumoso é a forma mais prática e econômica na alimentação de ruminantes (DEMANET et al., 2015). No Brasil, as condições climáticas permitem o cultivo de diferentes espécies forrageiras ao longo do ano, entretanto, com períodos alternados de maior ou menor oferta (MCDONALD et al., 1991; TOLENTINO et al., 2016). Para que não tenha reflexo na produção dos rebanhos leiteiros e possa ser utilizada no período de carência de forragem, uma alternativa é a conservação da biomassa, com objetivo de fornecer alimento volumoso em quantidade e qualidade aos animais (MEINERZ et al., 2011).

Dentre as formas de conservação das plantas e forrageiras, a ensilagem, comparado aos outros processos é a que preserva a maior quantidade de nutrientes do material original (VAN SOEST, 1994; PAHLOW et al., 2003; NEUMANN et al., 2010), também pela simplicidade e praticidade do processo, não requerendo tecnologias complexas (FERNANDES et al., 2016). O processo de ensilagem consiste na conservação da forragem em ambiente anaeróbico (MCDONALD et al., 1991; ANJOS et al., 2018), pela fermentação dos carboidratos solúveis em ácidos orgânicos que promovem a redução do pH, inibindo o desenvolvimento de microrganismos indesejáveis capazes de promover a sua deterioração (JOBIM et al., 2007; DUNIÈRE et al., 2013; LEÃO et al., 2017; ANJOS et al., 2018).

O milho (*Zea mays*) é a cultura de referência para a ensilagem, em virtude de suas características de fermentação, qualidade nutricional e eficiência produtiva (DUNIÈRE et al., 2013; BERNARDES e RÉGO, 2014). Em contrapartida, o sorgo (*Sorghum bicolor*), apresenta-se como alternativa ao milho, pois se adapta em áreas sujeitas ao estresse hídrico (BERNARDES et al., 2018), aos solos de baixa fertilidade (BORBA et al., 2012), possui alto valor nutritivo e concentração de carboidratos solúveis (NEUMANN et al., 2002) essenciais para uma adequada fermentação láctica (VAN SOEST, 1994) e menor custo de produção (PINO e HEINRICHS 2017). Sua produtividade e valor nutricional são semelhantes às silagens confeccionadas a partir da planta de milho (SKONIESKI et al., 2010).

A silagem pode ter seu valor nutricional alterado em razão dos procedimentos adotados para sua produção, conservação e dos fenômenos bioquímicos e microbiológicos (JOBIM et al., 2007). Embora, pondere-se que esses processos cheguem a um estado estável após algumas semanas de fermentação (KUNG JR et al. 2018), quando a massa ensilada atinge pH necessário para reduzir a atividade microbiológica (MUCK, 2010), existem evidências de alterações na qualidade nutricional dos alimentos durante a conservação, devido

a presença de enzimas resistentes ao pH (DER BEDROSIAN et al., 2012), tais como as enzimas que degradam a fibra.

Devido às características supracitadas, a cultura do sorgo é adequada para ensilagem, porém durante o processamento e armazenamento da silagem, podem ocorrer perdas de nutrientes decorrentes de fermentações indesejáveis (HENDERSON, 1993). Buscando minimizar tais efeitos, realiza-se a inclusão de aditivos, como os inoculantes bacterianos, que possuem bactérias lácticas homo ou heterofermentativas, ou a combinação destas (MUCK et al., 2018), para reduzir perdas, melhorar o processo fermentativo e a estabilidade aeróbia, preservando a qualidade do alimento (PERAZZO et al., 2017).

Dessa forma, compreender os processos e alterações envolvidos na ensilagem, bem como o efeito dos aditivos nestes processos, é fundamental na obtenção de um volumoso de elevada qualidade. Neste sentido, o trabalho tem por objetivo, avaliar a composição nutricional e os parâmetros fermentativos de silagens de sorgo submetidas a diferentes níveis de inoculante bacteriano e períodos de estocagem.

## 1.1 HIPÓTESES

As características nutricionais e fermentativas da silagem de sorgo são melhoradas ao serem submetidas ao uso de aditivo bacteriano no momento da ensilagem.

A silagem de sorgo estocada por diferentes períodos sofre alteração nas características nutricionais e fermentativas.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

Avaliar os efeitos na composição nutricional e nos parâmetros fermentativos de silagens de sorgo, submetidas a diferentes níveis de aditivo bacteriano e períodos de estocagem.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Avaliar os efeitos nos parâmetros nutricionais de silagens de sorgo, com e sem uso de inoculante bacteriano, armazenadas por até 60 dias.

Avaliar as características fermentativas das silagens de sorgo, com e sem uso de inoculante bacteriano, armazenadas por até 60 dias.

Avaliar os efeitos dos períodos de armazenamento sobre as perdas, a proteína e fibra das silagens de sorgo, com e sem uso de aditivos.

Quantificar as mudanças ocorridas nas silagens de sorgo armazenadas por diferentes períodos, com e sem uso de aditivos.

## 2 ESTUDO BIBLIOGRÁFICO

### 2.1 CONSERVAÇÃO DE FORRAGENS

No decorrer dos anos, a pecuária leiteira brasileira vem intensificando seus processos produtivos, elevando o país no patamar mundial na produção de leite, ocupando a quinta posição no *ranking* mundial de 2018, segundo o Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul (2018), correspondendo a 4% da produção total. No ano de 2017, o Rio Grande do Sul se encontrava na segunda posição dentre os estados brasileiros na produção de leite, com 4,5 bilhões de litros de leite produzidos, contando com 1,368 milhões de vacas ordenhadas e 3,326 mil litros por vaca/ano (CARVALHO et al., 2018).

Frente ao cenário exposto, maximizando a produção leiteira, a exigência animal aumenta e faz-se necessário o uso de alimento de qualidade e quantidade suficiente para as exigências dos animais, em períodos de vazio forrageiro e até mesmo, como alimento constante de dietas (VIEIRA et al., 2013; KLEIN et al., 2018), principalmente quando se tem maior nível de tecnificação e intensificação do sistema produtivo, dessa forma, a estratégia utilizada é a conservação da forragem (MEINERZ et al., 2011).

A conservação de alimentos é de extrema importância dentro do contexto de sistemas pecuários, tanto para a produção de leite quanto de carne (NEUMANN et al., 2017). Sendo importante realizar um plano estratégico para utilizar os recursos forrageiros disponíveis em cada região, para a intensificação do sistema de produção. Segundo a literatura disponível, a ensilagem é a forma de conservação mais utilizada, importante a nível mundial para a nutrição animal (WILKINSON e DAVIES, 2012; WILKINSON e RINNE, 2018) e que preserva maior quantidade de nutrientes do material original (VAN SOEST, 1994; PAHLOW et al., 2003; NEUMANN et al., 2010). Fonte de volumoso para suprirem as demandas nutricionais, fisiológicas, de manutenção, produção e reprodução dos animais (SILVA et al., 2015a).

Vale ressaltar, que a escolha da técnica empregada para conservação de alimentos é fator primordial, pois o material pode ter seu valor nutricional alterado, devido aos procedimentos adotados e de outros fatores que ocorrem durante o processo (JOBIM et al., 2007). Além disso, Getachew et al. (2016) destacam que algumas culturas são mais adequadas a conservação, como o milho e o sorgo, para ensilagem. Os cuidados adotados desde a escolha do cultivar até sua conservação por meio da ensilagem são essenciais para manter a

qualidade do material que será fornecido aos animais (MACÊDO e SANTOS, 2019), visto que o manejo nutricional da atividade é a parte mais onerosa dentro do sistema produtivo.

## 2.2 CULTURA DO SORGO

O sorgo é uma planta de origem africana (KANGAMA e RUMEI, 2005), e os sorgos cultivados atualmente se originam do silvestre *Sorghum bicolor subsp. Arundinaceum* (RODRIGUES, 2015). É uma cultura antiga e difundida em várias regiões agrícolas, no Brasil, sua introdução é atribuída aos escravos africanos, que possivelmente trouxeram as primeiras sementes que entraram no nordeste brasileiro (RIBAS, 2003).

Nos países africanos, a maior parte é utilizada na alimentação humana, já no Brasil, é utilizada principalmente na alimentação animal, tanto na forma de grãos, quanto de planta inteira (BORGHI et al., 2013). O sorgo pertence à família das gramíneas (*Poaceae*), gênero *Sorghum*, e a espécie mais comumente cultivada é o *Sorghum bicolor* (BUSO et al., 2011).

O sorgo é caracterizado como planta de dias curtos, seu cultivo é anual e para um bom crescimento e desenvolvimento, necessita temperaturas superiores a 20°C (MAGALHÃES, DURAES e SCHAFFERT, 2000; RODRIGUES, 2015). Embora possam ocorrer variações no rendimento entre anos e regiões, devido ao déficit hídrico ou geadas, o sorgo pode ser cultivado em todo Rio Grande do Sul, pois de modo geral, o regime térmico do estado atende as exigências do sorgo (EMBRAPA, 2017).

De acordo com o levantamento do IBGE (2020), na safra de 2019, o Brasil teve uma área plantada de 851 mil hectares de sorgo, e obteve produção de aproximadamente 3 toneladas por hectare de grãos. Dentre as regiões brasileiras, a região Sul, possuía a menor área, com 4.103 hectares, todos implantados no estado do Rio Grande do Sul e com rendimento similar ao nacional.

No Brasil, o maior interesse é no cultivo do sorgo granífero e do forrageiro, para produção de silagem e pastejo. O granífero caracteriza-se por plantas de porte baixo, com alta produção de grãos, já o forrageiro, tem plantas de porte alto com elevada produção de biomassa (MAY et al., 2011). A época indicada para semeadura é determinada em função das condições ambientais e da cultivar, geralmente ocorre entre os meses de setembro e janeiro (RODRIGUES, 2015).

Quanto ao solo, o sorgo é uma cultura tolerante a diversas condições de solo (MAGALHÃES, DURAES e SCHAFFERT, 2000), embora se adapte melhor que outros

cereais a solos de baixa fertilidade, os solos devem ser bem preparados, para alcançar melhor produtividade (RODRIGUES, 2015).

O ciclo da planta varia em função da cultivar, época de semeadura e região de cultivo e, em média, a duração total do ciclo varia de 90 a 120 dias (EMBRAPA, 2017). A planta de sorgo possui maior tolerância ao déficit hídrico do que o milho, devido à maior eficiência de uso da água, principalmente por seu sistema radicular profundo e ramificado, e seu estado de dormência sob ocorrência de estresse hídrico (MAGALHÃES, DURAES e SCHAFFERT, 2000; EMBRAPA, 2017). Além disso, o sorgo possui capacidade de rebrota, em materiais genéticos forrageiros rendem em média 40-60% do primeiro corte (RODRIGUES, 2015), o que permite elevar a sua produtividade por área. E maior teor de proteína bruta comparado ao milho (Tabela 1), tanto na forragem verde quanto na silagem (NASCIMENTO et al., 2008).

Tabela 1 – Composição química da forragem verde e das silagens de milho e sorgo.

	Forragem verde		Silagem	
	Milho	Sorgo	Milho	Sorgo
Matéria Seca	33,2	49,1	35,24	45,87
Energia Bruta	4,32	4,32	4,37	4,41
Proteína Bruta	7,89	8,56	7,69	10,98
Fibra Detergente Neutro	40,62	49,38	38,19	47,4
Fibra Detergente Ácido	18,61	23,7	18,9	24,17
pH	-	-	4,02	4,59

Fonte: NASCIMENTO et al., 2008.

Apesar da tolerância à seca, o estresse hídrico acentuado pode causar danos no decorrer do desenvolvimento da planta, principalmente quando ocorre na fase reprodutiva, reduzindo a produtividade (MENEZES et al., 2015). O ponto ideal para colheita depende do tipo e finalidade de uso da cultivar de sorgo. Para a ensilagem, o ponto ideal é quando a planta inteira atinge pelo menos 30% de matéria seca (RODRIGUES, 2015).

Além de ser uma planta que se adapte a áreas sujeitas ao estresse hídrico (BERNARDES et al., 2018), solos de baixa fertilidade (BORBA et al., 2012), possui alto valor nutritivo e concentração de carboidratos solúveis (NEUMANN et al., 2002; SILVA et al. 2012) essenciais para uma adequada fermentação láctica (VAN SOEST, 1994; PIRES et al., 2013) e ainda, menor custo de produção (VON PINHO et al., 2007; PINO e HEINRICH, 2017), proporcionando uma alternativa rentável na formulação de dietas e seu uso na alimentação animal.

### 2.3 PROCESSO DE ENSILAGEM

A busca de alternativas para conservar alimentos é essencial, e a ensilagem, comparada aos outros processos é a que preserva a maior quantidade de nutrientes do material original (VAN SOEST, 1994; PAHLOW et al., 2003; NEUMANN et al., 2010). A obtenção de uma silagem de boa qualidade ocorre em função das etapas que envolvem o processo de ensilagem, desde a escolha da forrageira, colheita, eficiência no armazenamento até a abertura do silo (NASCIMENTO et al., 2013; SILVA et al., 2015a).

O processo de ensilagem consiste no armazenamento da forragem em ambiente anaeróbio (MCDONALD et al., 1991), através da fermentação dos carboidratos solúveis em ácidos orgânicos que promovem a redução do pH, inibindo o desenvolvimento de microrganismos indesejáveis capazes de promover a sua deterioração (JOBIM et al., 2007; DUNIÈRE et al., 2013; LEÃO et al., 2017), preservando o valor nutricional do material ensilado (WEINBERG e CHEN, 2013).

O sorgo é uma planta favorável ao processo de ensilagem, devido às suas características fenotípicas que determinam a facilidade de plantio, manuseio, colheita e armazenamento (TOLENTINO et al., 2016). Destaca-se a necessidade de um teor adequado de matéria seca para uma boa fermentação láctica, nesse sentido, alguns autores relatam que o ponto de colheita é quando o grão atinge estágio pastoso, ou seja, com 30 a 35% de matéria seca (NOVAES et al., 2004).

O processo de ensilagem é comumente dividido em quatro etapas (NASCIMENTO, et al., 2013). Fase (1) aeróbia, seu início ocorre na colheita e vai até a compactação do silo, após, entre o primeiro e segundo dia após o fechamento do silo, se instala um ambiente anaeróbio, porém não se verifica redução do pH, então se inicia a fase (2) de fermentação, onde as bactérias do ácido láctico iniciam sua ação, reduzindo o pH, fase (3) de estabilidade da fermentação e a fase (4) de abertura do silo, período que o material vai ser exposto ao oxigênio e ser fornecido aos animais (WEINBERG e MUCK, 1996; WILKINSON e DAVIES, 2012).

A fase aeróbia possui curta duração, tem início quando a forragem é colhida no campo, sendo transportada ao local onde será ensilada e a retirada do ar através da compactação do material. Período no qual ocorre o consumo do oxigênio presente através da respiração celular da forragem (NASCIMENTO et al., 2013; MACÊDO et al., 2017).

Nascimento et al. (2013) acrescentam que esta fase é indesejável, entretanto é obrigatória no processo, e cabe ao produtor reduzi-la ao máximo.

Já, na fase de fermentação, através das bactérias ácido lácticas (BAL) que convertem os açúcares presentes na forragem (glicose, frutanos, frutose) em ácidos orgânicos (lático, acético, butírico e propiônico) (SANTOS et al., 2010), em função disso, ocasionam a redução do pH da massa de forragem (DER BEDROSIAN et al., 2012). A duração desse período varia entre 10 e 14 dias, e é dependente do teor de carboidratos solúveis, capacidade tampão e do teor de matéria seca do material ensilado (VAN SOEST, 1994).

Após o período fermentativo, as BAL vão se tornando inativas em razão da redução do pH e da fonte de substrato. Portanto, após a redução da fermentação inicia a fase de estabilização, compreendendo basicamente na manutenção do pH e da anaerobiose, impedindo a ação de microrganismos e fermentações indesejáveis capazes de promover a deterioração da silagem até a abertura do silo (JOBIM et al., 2007; DUNIÈRE et al., 2013; NASCIMENTO et al., 2013; LEÃO et al., 2017).

A última fase é a de deterioração aeróbia que inicia com a abertura do silo e a exposição do material ao ar. Isso contribui para o desenvolvimento de leveduras e bactérias produtoras de ácido acético, acarretando em aumento do pH, causado pela degradação de ácidos orgânicos que conservam a silagem. Além disso, há um aumento da temperatura e da ação de outros microrganismos (NASCIMENTO et al., 2013), resultando na degradação/deterioração da silagem em função da presença de oxigênio.

## 2.4 PERÍODO DE ARMAZENAMENTO

O sucesso na qualidade da silagem é obtido se forem seguidas as indicações básicas durante a sua produção (RIBEIRO et al., 2007), principalmente na capacidade de instituir condições favoráveis a fermentação láctica (OTT et al., 2018). Durante a ensilagem ocorre um conjunto de reações bioquímicas e microbiológicas (JOBIM et al., 2007). A estabilização do processo fermentativo ocorre próximo ao sétimo dia de ensilagem (ÍTAVO et al., 2006), porém um período de 30 a 45 dias (JUNGES et al., 2013) e 21 a 30 dias (KUNG JR et al., 2013) tem sido difundido como adequado para estabilizar a fermentação. Embora, pondere-se que esses processos cheguem a um estado estável após algumas semanas de fermentação (KUNG JR et al., 2018), quando a massa ensilada atinge o pH necessário para reduzir a atividade microbiológica (MUCK, 2010), existem evidências de alterações na qualidade

nutricional dos alimentos durante a conservação, devido à presença de enzimas resistentes ao pH (DER BEDROSIAN et al., 2012), tais como as enzimas que degradam a fibra. Estudos avaliando períodos de armazenamento, até 150 dias (DER BEDROSIAN et al., 2012) e até 202 dias (SARICICEK et al., 2016), relataram declínio do pH com o progresso do tempo de estocagem.

Deste modo, no que diz respeito à qualidade da silagem, o período de armazenamento assume grande importância. Bioquimicamente, as principais alterações apontadas são a hidrólise de prolaminas e hemicelulose. As prolaminas, matriz proteica que recobre os grânulos de amido, pode ser solubilizada pelos ácidos orgânicos presentes na silagem, aumentando a exposição e por conseguinte a digestibilidade do amido (JUNGES et al., 2017). Em relação a fração hemicelulose, sua solubilização parcial que ocorre quando o material é armazenado por longos períodos, gera um aumento no valor nutricional da silagem (LEÃO et al., 2017). Portanto, a fração fibrosa das silagens é alterada com o tempo de armazenamento (DER BEDROSIAN et al., 2012).

Experimento avaliando dois períodos de armazenamento de silagem de sorgo, de 30 e 60 dias, verificou influência do período de 60 dias sobre os constituintes da parede celular, justificado pela perda de efluentes de nutrientes do conteúdo celular do material ensilado, o que acarretou em aumento relativo dos constituintes da parede celular (FERNANDES et al., 2009). Fernandes et al. (2020), avaliando períodos de armazenamento de 0 a 90 dias, de cultivares de sorgo, observou um aumento linear da digestibilidade do amido *in situ*, indicando que o tempo de armazenamento influencia e pode otimizar a utilização do amido pelos animais. Outro efeito do tempo de armazenamento é o aumento da concentração de nitrogênio amoniacal, como observaram em silagem de sorgo com 90 (FERNANDES et al., 2020) e 120 dias (NAEINI et al., 2014), em silagem de milho com 240 (FERRARETTO et al., 2014) e 360 dias (DER BEDROSIAN et al., 2012), em silagem de capim elefante com 90 dias (DESTA et al., 2016) e em silagem de alfafa com 360 dias (SANTOS e KUNG, 2016), isso reflete a proteólise que ocorre no processo, e que mesmo em pH baixo, alguns microrganismos ainda estão ativos.

Além disso, podem ser observadas alterações com o decorrer do período de armazenamento, como a redução dos teores de matéria seca devido à produção de efluentes e gases durante o processo fermentativo (MCDONALD et al., 1991). Em outro estudo avaliando sete (1, 3, 5, 7, 14, 28, 56) tempos de abertura de silagens de cinco genótipos de sorgo, constataram que ao 56º dia os valores de proteína bruta foram menores comparados aos

materiais originais (RIBEIRO et al., 2007), e extrato etéreo em decorrência da degradação de nutrientes por microrganismos em condição anaeróbia (SARICICEK et al., 2016). Já Ott et al. (2018), avaliando 25 genótipos de sorgo, estocados durante 350 dias, observou valores preconizados por alguns pesquisadores como ideais para matéria seca de 30-35% (MCDONALD et al., 1991), de pH 3,7-4,2 (KUNG JR et al., 2003), N-NH<sub>3</sub> abaixo de 10% do nitrogênio total (FERREIRA, 2001) e proteína bruta acima de 7% (VAN SOEST, 1994).

Em relação à população microbiana, observa-se em alguns estudos que ocorreu uma redução no crescimento de fungos e leveduras, decorrente da condição de anaerobiose mantida durante o tempo de armazenamento, visto que o desenvolvimento fúngico depende da presença de oxigênio (MEESKE et al., 1999; FRANÇA et al., 2015; BATISTA et al., 2016). Borreani e Tabacco (2010) verificaram uma maior contagem destes microrganismos nas regiões periféricas dos silos, indicando a existência de maiores concentrações de oxigênio nestas áreas. Na presença de leveduras ocorre o consumo de açúcares e a liberação de dióxido de carbono, que resulta em perdas de matéria seca (JOBIM et al., 1997), sendo assim, é favorável essa diminuição de leveduras no processo. Silagens bem armazenadas, em virtude da anaerobiose e do pH ácido impedem o desenvolvimento de enterobactérias (OLADOSU et al., 2016). É indesejável a presença de *Clostridium* nas silagens (RABELO et al. 2014), visto que estas bactérias são capazes de fermentar carboidratos e degradar proteínas, resultando em perda de nutrientes, conseqüentemente redução do valor nutricional (MUCK, 1988; NERES et al., 2013; OLADOSU et al., 2016) e até mesmo o consumo de silagem pelos animais.

## 2.5 INOCULANTES NA SILAGEM

Durante o processamento e armazenamento da silagem, podem ocorrer perdas de nutrientes, decorrentes de falhas durante a produção e fermentações indesejáveis (HENDERSON, 1993). Uma alternativa viável para minimizar tais efeitos, é a inclusão de aditivos (MUCK et al., 2018), com o intuito de melhorar o processo fermentativo, reduzir perdas e a deterioração aeróbia, melhorar estabilidade aeróbia, preservando a qualidade do alimento, aumentando a produção animal, conseqüentemente, proporcionando retorno ao agricultor (YITBAREK e TAMIR, 2014; OLADOSU et al., 2016; PERAZZO et al., 2017).

Vários aditivos estão disponíveis para utilização na silagem, a fim de melhorar a preservação da cultura a ser ensilada, estes podem ser classificados em classes: estimulantes de fermentação, que contenham cultura de BAL, fontes de carboidratos fermentáveis e

enzimas como celulases, hemicelulases e amilases. Os inibidores da fermentação, tais como ácidos e sais de ácidos orgânicos, e outros inibidores químicos. Os inibidores de deterioração aeróbia incluem BAL, ácido propiônico e ácido acético (MCDONALD et al., 1991; YITBAREK e TAMIR, 2014).

A utilização de inoculantes no Brasil está presente em apenas 27% das propriedades (SILVA et al., 2015b). Os efeitos do emprego dos inoculantes sobre o processo de ensilagem estão associados ao tipo de inoculante, sua atividade biológica, a quantidade aplicada e o tipo de forragem (ANJOS et al., 2018), importante lembrar que os aditivos de silagem não transformam forragem de baixa qualidade em silagem de boa qualidade (YITBAREK e TAMIR, 2014). Dentre os variados inoculantes utilizados na produção de ensilados, os principais são os inoculantes bacterianos (MUCK, 2010).

A inoculação das silagens com bactérias homofermentativas, heterofermentativas, ou a combinação destas (ZOPOLATTO et al., 2009; RABELO et al., 2014; YITBAREK e TAMIR, 2014; MUCK et al., 2018), tem sido utilizada para melhorar a fermentação láctica, dominar a flora epífita da forragem e aumentar de forma mais rápida a produção de ácidos orgânicos na ensilagem, limitando as perdas de matéria seca durante a fermentação, preservando a qualidade nutricional das forragens ensiladas (THOMAS et al., 2013; OGUNADE et al., 2016; SILVA et al., 2016; RAHMAN et al., 2017).

O princípio básico de atuação dos inoculantes bacterianos consiste no aumento da disponibilidade de açúcares simples para as bactérias produtoras de ácido láctico (SILVA et al., 2010), acelerando a queda do pH do material ensilado, aumentando a concentração de ácido láctico, reduzindo perdas de silagem, inibindo o crescimento de microrganismos indesejáveis, evitando, por exemplo, a produção de micotoxinas e aumentando a estabilidade aeróbia das silagens durante o período de fornecimento aos animais (ÖZDÜVEN et al., 2017). Uma recente meta-análise de 130 artigos revelou que os efeitos desses inoculantes variam de acordo com a cultura, e que na silagem de sorgo não foi observada melhora no processo fermentativo quando submetida a inoculação com BAL (OLIVEIRA et al., 2017).

As bactérias do ácido láctico são divididas em dois grupos com base no metabolismo do açúcar, sendo eles: homofermentadores e heterofermentadores. Os mais comuns utilizados em inoculantes de silagem incluem: homofermentadores (*Lactobacillus plantarum*, *Enterococcus faecium*, *Pediococcus acidilactici*) e heterofermentador (*Lactobacillus buchneri*) (OLADOSU et al., 2016), e outros microrganismos testados em silagens, como o *Propionibacterium acidipropionici* (RABELO et al., 2016). As bactérias homofermentativas produzem somente

ácido lático, utilizando 1 mol de glicose gerando 2 moles de ácido lático, enquanto as bactérias heterofermentativas produzem diversos produtos a partir de 1 mol de glicose, resultando em 1 mol de ácido lático, 1 mol CO<sub>2</sub> e 1 mol de etanol ou 1 mol de ácido acético (MACÊDO et al., 2017; MUCK et al., 2018).

As silagens inoculadas com bactérias homofermentativas são frequentemente mais baixas em pH, ácido acético, ácido butírico e nitrogênio amoniacal, porém mais altas em conteúdo de ácido lático e exibem melhor recuperação de MS em comparação com silagens não tratadas (MUCK et al., 2018). As inoculadas com bactérias heterofermentativas visam melhorar a estabilidade aeróbia, pois são capazes de produzir ácidos antifúngicos, como ácido acético e propiônico, que possuem potencial de inibir esses microrganismos responsáveis por iniciar a deterioração aeróbia (QUEIROZ et al., 2013). Além disso, a produção desses ácidos, principalmente do ácido lático implica na redução do pH, logo, tem maior capacidade de inibir a fermentação por clostrídios, auxiliando no controle das perdas em silagens (MCDONALD et al., 1991). Outro estudo, através de meta-análise evidenciou redução no crescimento de fungos e leveduras quando realizada a inoculação de silagem com BAL (OLIVEIRA et al., 2017; BLAJMAN et al., 2018), isso ocorre, pois as membranas celulares das leveduras e dos fungos filamentosos ficam permeáveis aos ácidos, principalmente o acético, quando o pH da silagem cai abaixo de 4, tão logo, dentro da célula o ácido se dissocia devido ao alto pH, libera íons H<sup>+</sup> (KIM et al., 2021), que reduzem a proliferação e sobrevivência dos microrganismos patogênicos na silagem.

### 3 ARTIGO - EFEITO DO TEMPO DE ARMAZENAMENTO E USO DE ADITIVO EM SILAGENS DE SORGO

#### 3.1 RESUMO

Com o objetivo de avaliar a composição nutricional e os parâmetros fermentativos de silagens de sorgo silageiro submetidas a diferentes níveis de inoculante bacteriano (controle, 7,5, 15, e 30 ml) e períodos de estocagem (20, 40 e 60 dias), foi conduzido um experimento na região da Depressão Central do Rio Grande do Sul. A pesquisa foi conduzida no período de janeiro a julho de 2015, sob delineamento experimental inteiramente casualizado em um arranjo fatorial 4x3 (4 níveis de inoculante e 3 períodos de estocagem), com 4 repetições. Foram observadas interações significativas entre os períodos de estocagem e os níveis de inclusão do inoculante bacteriano para RMS, ácido acético e DFDN. Quanto aos períodos de estocagem, houve diferença para pH, N-NH<sub>3</sub>, MM, PB, FDN, Lignina, CNF, EE, NDT e produção de leite. O ácido butírico e a MS foram influenciados pelos períodos de estocagem e os níveis de inoculante. As variáveis PE, PG, ácido láctico, amido e FDA não foram influenciadas pelos tratamentos. A RMS se aproximou de 99% quando inoculada a dose quatro vezes superior à recomendada, exceto nas silagens estocadas por 60 dias. O pH foi menor em 40 e 60 dias, presumindo que seu declínio ocorreu de forma rápida, e que foi determinante na melhor RMS. O valor nutricional e as variáveis fermentativas das silagens não apresentaram diferença entre 40 e 60 dias de estocagem. O aumento no tempo de estocagem altera o valor nutricional das silagens, elevando os níveis de N-NH<sub>3</sub> e FDN, bem como, reduzindo o teor de PB e lignina. A produção potencial de leite por tonelada de MS de silagem produzida aumentou com o período de estocagem. Relacionado com o aumento da MS e NDT, e redução da lignina. O valor nutricional e os parâmetros fermentativos das silagens apresentam o mesmo comportamento entre 40 e 60 dias de estocagem. Os tratamentos avaliados não influenciam as perdas por produção de efluentes e gases, bem como os teores de ácido láctico, amido e a fração FDA. Considerando os valores de MS, pH, ácido acético, ácido butírico e N-NH<sub>3</sub>, as silagens de sorgo produzidas se enquadram como bem fermentadas. Indicando perdas mínimas, sem prejuízo significativo no valor nutricional, quando conservada. A RMS foi superior quando utilizada a dose máxima do inoculante (30 ml). Levando em consideração esta variável para avaliar economicamente, o produtor obtém um retorno econômico, através da redução das perdas e, em produção de leite.

**Palavras-Chave:** *Lactobacillus buchneri*. *Lactobacillus plantarum*. *Pediococcus acidilactici*. *Propionibacterium acidipropionici*. Qualidade de silagem.

#### 3.2 INTRODUÇÃO

Com à intensificação e a busca de melhor desempenho na pecuária leiteira, faz-se necessária maior oferta de alimentos para os animais, tanto quantitativa quanto qualitativamente. Mesmo o Brasil tendo condições climáticas para cultivo de forragem ao longo do ano, ocorrem períodos com maior ou menor oferta (DEMANET et al., 2015; TOLENTINO et al., 2016). As condições adversas, somadas à falta de planejamento de

alimentos podem influenciar no desempenho do rebanho, dessa forma, buscar estratégias que possibilitem a disponibilidade de alimento para esses animais nesses períodos é essencial, uma das alternativas ao alcance do produtor é a produção de volumoso conservado, como a silagem.

A conservação de alimentos na forma de silagem é uma das principais opções para posterior fornecimento aos animais. A silagem de milho é a tradicional, entretanto, o sorgo (*Sorghum bicolor*) está se difundindo como alternativa ao milho, pois se adapta em áreas sujeitas ao estresse hídrico (BERNARDES et al., 2018; VERIATO et al., 2018), possui alto valor nutritivo e concentração de carboidratos solúveis (NEUMANN et al., 2002) essenciais para uma adequada fermentação láctica (VAN SOEST, 1994) e menor custo de produção (PINO e HEINRICHS 2017), bem como, sua produtividade e valor nutricional são semelhantes às silagens confeccionadas a partir da planta de milho (SKONIESKI et al., 2010).

Contudo, a obtenção e a eficiência na produção de um alimento de qualidade não estão direcionadas somente ao valor nutricional da silagem, mas também, em função das etapas que envolvem o processo de ensilagem, desde a escolha do cultivar adaptada à região até a eficiência no processo de armazenamento do material e abertura do silo. Para auxiliar no processo fermentativo, preservar a qualidade do alimento e reduzir perdas (PERAZZO et al., 2017), realiza-se a inclusão de aditivos, como os inoculantes bacterianos, que possuem bactérias lácticas homo ou heterofermentativas, ou a combinação destas (MUCK et al., 2018).

Dessa forma, compreender os processos e alterações envolvidos na ensilagem, bem como o efeito do uso de aditivos nestes processos, é fundamental na obtenção de um volumoso de elevada qualidade. Neste sentido, o trabalho tem por objetivo, avaliar a composição nutricional e os parâmetros fermentativos de silagens de sorgo submetidas a diferentes níveis de inoculante bacteriano e períodos de estocagem.

### 3.3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Grupo de Estudos em Aditivos na Produção Animal (GEAPA) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), localizado na região fisiográfica denominada Depressão Central (latitude 29°43'48.4"Sul e longitude 53°43'11.0"Oeste), Rio Grande do Sul, Brasil, no período de janeiro a julho de 2015. Segundo a classificação climática de Köppen (1928), o clima da região é do tipo Cfa, subtropical úmido.

A área experimental foi semeada em 15 de janeiro de 2015, utilizando o híbrido de

sorgo comercial, Advanta® ADV 2499, com espaçamento de 0,45m entre linhas e densidade de 6 sementes/m linear. No momento da semeadura foi realizada adubação conforme a necessidade expressa pelo Manual de Adubação e Calagem (ROLAS, 2004).

A ensilagem foi realizada no dia 21 de maio de 2015, quando o grão se encontrava no ponto de pastoso a farináceo. As plantas foram colhidas manualmente a uma altura média de 10 cm do solo e em seguida fragmentadas em triturador regulado para tamanho médio de partícula de 2 cm. As silagens foram confeccionadas em mini silos, sendo que o material foi compactado e hermeticamente fechado em quatro sacos plásticos para proteção contra a entrada de ar e luminosidade. A sequência foi a seguinte: primeiro saco, com aberturas no fundo para a saída de efluentes e acomodação do material ensilado; segundo saco, continha uma camada de tecido não tecido (TNT) mais areia lavada e seca em estufa para absorção dos efluentes; terceiro saco, para vedação dos demais; quarto saco, escuro para proteção contra luminosidade. Os silos experimentais continham 6 kg de silagem e 2 kg de areia.

Os tratamentos foram distribuídos ao acaso, e compreenderam três períodos de fermentação/estocagem/abertura: 1º) dia 10 de junho, com 20 dias de conservação; 2º) dia 01 de julho, com 40 dias de conservação; 3º) dia 21 de julho, com 60 dias, e quatro níveis de inoculante, nos seguintes tratamentos: 1º) controle, sem uso de inoculante; 2º) 7,5ml de inoculante por tonelada de matéria verde de silagem (dose recomendada pela empresa); 3º) 15ml de inoculante por tonelada de matéria verde de silagem (duas vezes a dose recomendada); 4º) 30ml de inoculante por tonelada de matéria verde de silagem (quatro vezes a dose recomendada) associados em um arranjo fatorial 4x3.

O inoculante comercial utilizado foi o TOTALSILO® (TotalBiotecnologia), o qual é composto de cultura de *Lactobacillus buchneri*, *Lactobacillus plantarum*, *Pediococcus acidilactici*, *Propionibacterium acidipropionici*, na concentração de  $1 \times 10^9$  UFC/ml. A dose do inoculante bacteriano foi de 7,5 ml para cada tonelada de matéria verde, aplicado uniformemente sobre a forragem após seu recolhimento e picagem, por meio de pulverizador manual.

Na ocasião da abertura dos silos, foram coletadas amostras com aproximadamente 300 g de cada tratamento, enroladas em plástico filme e recompactadas, posteriormente resfriadas a 4°C e enviadas ao laboratório 3R Lab, localizado em Belo Horizonte/MG, para análise de composição nutricional e fermentativa por analisador Near Infra Red Spectro (NIRS), em equipamento Foss NIR 5000, conforme manual do usuário. Para a estimativa da produção de

leite, foi utilizado o modelo Milk 2006 (SHAVER e LAUER, 2006), utilizando as médias de 30 e 48 horas, da DFDN padronizado.

As perdas por efluentes (PE) e gases (PG) assim como a recuperação de matéria seca (RMS), foram estimadas através das fórmulas mencionadas por Jobim et al. (2007). Os silos e o conjunto areia+TNT+sacos foram pesados no momento da confecção e na abertura das silagens, posteriormente foram realizados os cálculos com as seguintes equações:

- $PE = (Pab - Pen) / (MVfe) \times 1000$

Onde:

PE = Produção de efluente (kg/t de massa verde);

Pab = Peso do conjunto (silo+areia+ TNT) na abertura (kg);

Pen = Peso do conjunto (silo+areia+TNT) na ensilagem (kg);

MVfe = Massa verde de forragem ensilada (kg).

- $PG = [(PCen - Pen) * MSen] - [(PCab - Pen) * MSab] \times 100 [(PCen - Pen) * MSen]$

Onde:

PG = Perdas por gases em % da MS;

PCen = Peso do silo cheio na ensilagem (kg);

Pen = Peso do conjunto (silo +areia +TNT) na ensilagem (kg);

MSen = Teor de MS da forragem na ensilagem (%);

PCab = Peso do silo cheio na abertura (kg);

MSab = Teor de MS da forragem na abertura (%).

- $RMS = (Mfab \times MSab) / (MFfe \times MSfe) * 100$

Onde:

RMS = Recuperação de matéria seca;

Mfab= Massa de forragem na abertura;

MSab= Teor de MS na abertura;

MFfe = Massa de forragem no fechamento;

Msfe = Teor de MS da forragem no fechamento.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 4 x 3 (4 níveis de inoculante e 3 períodos de estocagem), com 4 repetições. Os dados

foram submetidos à análise de variância através do procedimento GLM (proc GLM). A análise estatística considerou data (períodos de estocagem), dose (níveis de inoculante) e sua interação (data\*dose) como efeitos fixos. As diferenças entre as médias, quando significativas, foram submetidas ao teste de Tukey, a 5% de probabilidade, com auxílio do programa estatístico Minitab 18.

### 3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teor de MS apresentou diferença significativa ( $P < 0,05$ ), sendo maior com o incremento de inoculante e do período de estocagem (Tabela 1). Para ocorrer uma adequada fermentação láctica são necessários níveis adequados de MS, assim, Macedo et al. (2017), reportam os teores para silagem de sorgo de 28 a 40% da MS, consistentes com os valores obtidos no presente estudo. Aparentemente, o aumento no teor de MS provoca maior pressão osmótica do meio, tornando o ambiente desfavorável para o desenvolvimento e a atividade metabólica das leveduras (Van Soest, 1994). O adequado teor de MS promove, ainda, melhor conservação e compactação do material ensilado, evita fermentações indesejáveis e, conseqüentemente, reduz perdas de nutrientes, permitindo assim maior RMS, como observado no presente estudo. O aumento do teor de MS também foi observado por Grise et al. (2006), utilizando inoculante microbiano em silagem de sorgo, o oposto foi visto por Rodrigues et al. (2002), analisando 3 diferentes inoculantes microbianos. Os autores explicaram esse efeito como consequência da maior quantidade de compostos voláteis, como o etanol, produzidos por silagens inoculadas, e que tenham sido perdidos durante a avaliação da MS, subestimando os valores. Outra justificativa é indicada por Zago (1991), de que as modificações no processo fermentativo do sorgo poderiam reduzir o teor de MS, devido à produção da “água do metabolismo”.

A RMS apresentou interação significativa ( $P < 0,05$ ) entre períodos de estocagem e níveis de inoculante sendo que as silagens estocadas por 20 dias e sem a utilização de inoculante apresentaram os menores valores de RMS comparado aos demais tratamentos (Tabela 1). Os dados são similares aos apresentados na literatura (ZOPOLLATO et al., 2009; TABACCO et al., 2011), que demonstra que a RMS é normalmente maior pela utilização de bactérias heterofermentativas ou bactérias homofermentativas (KUNG JR et al., 2003) ou ainda, com a mistura entre elas, como o utilizado no presente estudo. Assegurando que a utilização desse inoculante, é eficaz para reduzir perdas durante o processo fermentativo, auxiliando para obtenção de melhor RMS.

Tabela 1 - Parâmetros fermentativos e perdas de silagens de sorgo submetidas a distintos períodos fermentativos e níveis de inoculante bacteriano.

Variável	Datas	Doses				Média	EPM	Valor P
		0	7,5	15	30			
MS	20	26,99	28,51	29,06	29,24	28,45B	0,29	<0,0001
	40	31,11	30,95	31,21	32,15	31,36A	0,29	
	60	30,42	31,4	31,35	32,2	31,34A	0,3	
	Média	29,51b	30,29ab	30,54ab	31,20a			
	EPM	0,35	0,34	0,34	0,34			
	Valor P	0,015						
RMS	20	90,54Bb	95,9Aa	96,72Aa	98,55Aa	95,42	0,55	0,04
	40	92,68Aba	93,25Aa	97,13Aa	98,39Aa	95,36	0,67	
	60	96,3Aa	93,75Aa	96,18Aa	96,48Aa	95,67	0,63	
	Média	93,17	94,29	96,67	97,8			
	EPM	0,74	0,61	0,76	0,74			
	Valor P							
pH	20	4,59	4,42	4,29	4,52	4,45A	0,08	0,015
	40	4,18	3,85	4,18	4,22	4,11B	0,08	
	60	4,46	3,94	4,03	4,09	4,13B	0,09	
	Média	4,41	4,07	4,16	4,28			
	EPM	0,1	0,1	0,1	0,1			
	Valor P	0,058	0,076	0,468	0,597			
N-NH <sub>3</sub>	20	1,87	1,43	2	2,68	2,02B	0,05	<0,0001
	40	4,75	4,68	5,43	5,75	5,18A	0,05	
	60	6,06	4,43	5,06	5	5,16A	0,05	
	Média	4,24	3,56	4,2	4,48			
	EPM	0,06	0,05	0,05	0,05			
	Valor P	0,715	0,09	0,815	0,268			
AA	20	0Ba	0Aa	0Aa	0Aa	0	0,05	0,005
	40	0,07Aba	0,01Aa	0,12Aa	0,03Aa	0,06	0,05	
	60	0,90Aa	0Ab	0,04Aab	0,22Aab	0,29	0,06	
	Média	0,32	0,003	0,56	0,08			
	EPM	0,07	0,06	0,06	0,06			
	Valor P							
AB	20	0,17	0,12	0,11	0,17	0,14A	0,006	<0,0001
	40	0,007	0	0,01	0,01	0,008B	0,006	
	60	0,04	0	0	0,01	0,01B	0,006	
	Média	0,07 <sup>a</sup>	0,04b	0,04b	0,06ab			
	EPM	0,007	0,007	0,007	0,007			
	Valor P	0,003						

MS = Matéria Seca (%); RMS = Recuperação de Matéria Seca (%); N-NH<sub>3</sub> = N-amoniaco (% nitrogênio total); AA = Ácido acético (%MS); AB = Ácido butírico (%MS);

<sup>A-B</sup>Médias com letras maiúsculas distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

<sup>a-b</sup>Médias com letras minúsculas distintas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

As silagens inoculadas com bactérias homofermentativas, apresentam rápida fermentação dos carboidratos solúveis em água, produzindo ácido lático, o que acelera a redução do pH da massa ensilada, evitando a ocorrência de maiores perdas como desagregação de açúcares e proteínas no material (QUEIROZ et al., 2013), além de apresentarem melhor RMS em comparação com silagens não tratadas (MUCK et al., 2018). Já, em silagens aditivadas com bactérias heterofermentativas, a menor RMS em silagens está relacionada à produção de ácido acético, que resulta em perda adicional de CO<sub>2</sub> (MUCK, 2010). Razão pela qual os valores de RMS não foram máximos no presente trabalho, apesar de que, utilizando a dose de inoculante bacteriano quatro vezes superior à recomendada, os valores de RMS se aproximaram de 99%, com exceção das silagens estocadas por 60 dias, apesar de não serem estatisticamente diferentes das demais dosagens do inoculante.

O período de estocagem influenciou ( $P < 0,05$ ) o pH das silagens, exibindo menores valores nas datas de 40 e 60 dias (Tabela 1). Analisando esses valores em curto período de estocagem utilizado, presumivelmente, indica que o declínio do pH ocorreu de forma rápida, contribuindo para redução do risco de crescimento precoce de microrganismos indesejáveis (LEÃO et al., 2017; ANJOS et al., 2018), como as bactérias do gênero *Clostridium*, que deterioram a forragem ensilada (YITBAREK e TAMIR, 2014), e também da perda de nutrientes (ELLIS et al., 2016). Os valores obtidos encontram-se próximos ao desejável para silagens devidamente fermentadas, que variam entre 3,7 e 4,2 (MCDONALD et al., 1991), deixando evidente, além de outros critérios a serem considerados (N-NH<sub>3</sub>, ácido acético e MS), a boa qualidade das silagens obtidas no presente estudo. Essa redução desejável no pH (RESTELATTO et al., 2019) já foi observada em outros estudos com períodos de armazenamento de 90 (FERNANDES et al., 2020), 150 (DER BEDROSIAN et al., 2012) e 202 dias (SARICICEK et al., 2016). Dessa forma, evidencia a conversão dos carboidratos solúveis em ácidos orgânicos, como o ácido lático (YUAN et al., 2015; RAHMAN et al., 2017; GUO et al., 2018), colaborando para redução da proteólise enzimática, melhora na recuperação de MS (HENDERSON, 1993; MUCK, 2010) e energia (PAHLOW et al., 2003).

O conteúdo de nitrogênio amoniacal (N-NH<sub>3</sub>) apresentou diferença significativa ( $P < 0,05$ ), entre os períodos de armazenamento, com maiores médias em 40 e 60 dias (Tabela 1). Apesar de exibir um ligeiro aumento na sua concentração com o tempo de estocagem, encontram-se dentro dos valores de referência para uma silagem de qualidade, ou seja, com valores inferiores a 10% do nitrogênio total (MCDONALD et al., 1991). Embora esse aumento seja indesejável, geralmente é inevitável evitar algum nível de proteólise. Mesmo

que o pH se mantenha baixo durante o armazenamento, algumas enzimas continuam ativas, degradando o material. Isso demonstra que mecanismos proteolíticos podem estar ativos além de 2 a 3 meses de armazenamento (DER BEDROSIAN et al., 2012). Efeitos que foram observados em outros trabalhos com silagem de sorgo, com tempo de armazenamento de 90 (FERNANDES et al., 2020) e 120 dias (NAEINI et al., 2014). Nesse aspecto, as silagens analisadas podem ser consideradas com adequado padrão fermentativo, pois suas baixas concentrações de N-NH<sub>3</sub> indicam baixa incidência de proteólise (SKONIESKI et al., 2010) durante o processo fermentativo, decorrente da menor atividade de bactérias clostrídicas, conseqüentemente menor produção de ácido butírico (WOOLFORD, 1984; MCDONALD et al., 1991).

Com relação às perdas, não houve efeito significativo ( $P>0,05$ ) quanto à PE e PG para os tratamentos avaliados, as médias observadas foram de 3,87 (kg/ton) e 7,39 (% da MS), respectivamente. Alguns fatores durante o manuseio da forragem podem prejudicar o estado da massa ensilada, como a colheita de forragens com baixos teores de MS, predispondo a ocorrência de fermentação inadequada (NEUMANN et al., 2017), também a picagem do material e compactação (SIQUEIRA et al., 2007), desta forma, é possível inferir que o material ensilado foi manuseado de forma correta. Os resultados encontrados em relação às PG, são similares ao de Junges et al. (2013), analisando diferentes tempos de armazenamento e utilização de inoculante microbiano contendo *L. plantarum*, *L. brevis* e *Enterococcus faecium*, também não observaram diferenças entre os tratamentos, com valor médio de 4,38% na MS. Contudo, as perdas observadas no presente trabalho são inferiores as indicadas por Anjos et al. (2018), que em experimento trabalhando com inoculante microbiano contendo *Lactobacillus plantarum* e *Propionibacterium acidipropionici*, observaram perdas de 11,08% na MS.

Analisando a concentração dos ácidos orgânicos das silagens (Tabela 1), o teor de ácido láctico não apresentou diferença entre os tratamentos avaliados ( $P>0,05$ ), com valor médio de 4,35%. Considerado o produto de fermentação mais desejável na silagem pela efetividade na redução do pH da massa ensilada, estando associado à preservação dos nutrientes ao longo da estocagem (RODRIGUES et al., 2020). O que poderia explicar essa semelhança entre grupos, é que as cepas de *L. buchneri* tem a capacidade de fermentar o ácido láctico em ácido acético (MUCK, 2010), no entanto, não foi observado, no presente estudo, aumento do ácido acético quando as silagens foram submetidas à inoculação.

O teor de ácido acético foi significativamente ( $P < 0,05$ ) menor no grupo controle de 20 dias em relação aos 60 dias, e também menor ( $P < 0,05$ ) na dose recomendada pela empresa (7,5 ml) do que o controle em 60 dias, apresentando concentração inferior a 1% na MS em todos os tratamentos (Tabela 1). O ácido acético quando acima de 2% da MS (VIEIRA et al., 2004), é considerado como produto de fermentação indesejada (DULPHY e DEMARQUILLY, 1981), pois resulta em perda de qualidade e menor consumo por parte dos animais. Embora o ácido acético possa melhorar a estabilidade aeróbia após abertura do silo, não foi realizada a avaliação, pois as cepas de *L. buchneri* são lentas e seu efeito na estabilidade aeróbia pode demorar mais de 60 dias para ser observado (MUCK, 2010). Além disso, a produção desse ácido e outros compostos orgânicos voláteis por bactérias heteroláticas durante a fermentação, pode aumentar as perdas de MS (KUNG JR et al., 2018).

Os valores de ácido butírico, apresentaram diferença significativa ( $P < 0,05$ ) para os períodos de estocagem e níveis de inoculante separadamente (Tabela 1). Independente do tratamento imposto em 40 e 60 dias, os valores de ácido butírico foram inferiores a 0,1%, o que é preconizado para silagens de boa qualidade (VIEIRA et al., 2004). Contudo, as silagens estocadas por 20 dias apresentaram uma concentração de ácido butírico de 0,14% na MS, que, apesar de aceitável, não é recomendado. Como indicado anteriormente, as silagens estocadas por 20 dias apresentaram um valor de pH superior ao recomendado de 4,2. Conforme já discutido, o correto manejo realizado durante a ensilagem evitou a contaminação do material por bactérias do gênero *Clostridium* (PAHLOW et al., 2003). Esse fator, associado ao baixo pH devido a inclusão do inoculante, foi essencial para atingir baixos níveis de ácido butírico, indicando preservação adequada e ausência de fermentação secundária (HERRMANN et al., 2011), fundamental para obter silagem de boa qualidade. Silagens que apresentam níveis elevados desse ácido, podem reduzir o consumo e afetar negativamente a saúde animal (DRIEHUIS et al., 2018).

As concentrações dos ácidos orgânicos na silagem foram adequadas e demonstraram fermentação satisfatória (KUNG JR et al., 2018; MCDONALD et al., 1991), visto que encontram-se dentro dos níveis de ácidos para classificar a qualidade das silagens, onde o ácido láctico deve apresentar de 4-6 (%MS), ácido acético  $< 2\%$  (%MS) e o ácido butírico  $< 0,1$  (%MS), valores atribuídos à silagem muito boa (VIEIRA et al., 2004).

Em relação aos valores de MM, foram influenciados apenas pelos períodos de estocagem ( $P < 0,05$ ) (Tabela 2). Os resultados encontrados são divergentes do observado em outros trabalhos avaliando silagem de sorgo, com 17 genótipos de sorgo granífero a média foi

de 5,12 (VERIATO et al., 2018), e com 25 genótipos a média foi de 5,64 (OTT et al., 2018) e 6,62 (SANTIN et al., 2020). Esses valores estão relacionados com a maior proporção de grãos, que influencia no teor de cinzas, pois os grãos são ricos em minerais, dessa forma, sorgo granífero apresentam maiores teores. A irregularidade nos índices pluviométricos, é outro fator que explica os resultados do presente estudo, registrados no período crítico de desenvolvimento da cultura, o florescimento, comprometendo a produção de grãos, conseqüentemente amido e MM. Na tabela 3, é visualizada uma precipitação considerada normal para o período, no entanto, ocorreu de forma muito espaçada, no início e final do mês, comprometendo a produtividade.

Os teores de PB apresentaram diferença significativa ( $P < 0,05$ ), entre os períodos de armazenamento, com menores médias aos 40 e 60 dias (Tabela 2). A redução dos teores com o progresso da estocagem está relacionada com a ocorrência de proteólise no silo, que é geralmente inevitável durante o processo. Os teores de PB guardam relação com as perdas provenientes da proteólise, neste sentido, as silagens que apresentaram maiores valores de  $N-NH_3$  são aquelas que apresentaram os menores valores de PB, sendo observada uma correlação entre essas duas variáveis ( $r = - 0,99$ ). A proteólise ininterrupta durante o período de armazenamento de silagens não é surpreendente, pois algumas proteases de plantas são conhecidas por permanecerem ativas em pH muito baixo (DER BEDROSIAN et al., 2012). O mesmo efeito foi observado em outros trabalhos com silagem de sorgo com até 90 (FERNANDES et al., 2020) e 120 dias de armazenamento (NAEINI et al., 2014), e também na silagem de milho armazenada por até 240 (FERRARETTO et al., 2014) e 360 dias (DER BEDROSIAN et al., 2012). Vale ressaltar, que em todos os tratamentos testados foram observados valores de PB acima do nível mínimo de exigência, de 7%, preconizado por Van Soest (1994), para que não ocorram limitações ao crescimento microbiano, permitindo adequada fermentação ruminal.

Tabela 2 - Composição nutricional de silagens de sorgo submetidas a distintos períodos fermentativos e níveis de inoculante bacteriano.

		Doses						(continua)	
Variável	Datas	0	7,5	15	30	Média	EPM	Valor P	
MM	20	2,44	2,53	2,67	2,5	2,54B	0,1	<0,0001	
	40	3,58	3,43	3,31	3,15	3,36A	0,1		
	60	3,53	3,72	3,4	3,44	3,52A	0,1		
	Média	3,18	3,23	3,13	3,03				
	EPM	0,12	0,11	0,11	0,11				
	Valor P	0,704	0,406	0,885	0,282				
PB	20	10,03	10,04	10,19	9,95	10,05A	0,08	<0,0001	
	40	9,58	9,44	9,13	9,06	9,30B	0,08		
	60	9,24	9,37	9,11	9,24	9,24B	0,08		
	Média	9,62	9,61	9,48	9,42				
	EPM	0,1	0,09	0,09	0,09				
	Valor P	0,342	0,333	0,528	0,188				
FDN	20	41,23	42,01	41,46	42,47	41,79B	0,58	<0,0001	
	40	45,34	46,44	44,65	43,1	44,88A	0,58		
	60	48,76	46,1	45,33	44,59	46,19A	0,6		
	Média	45,11	44,85	43,81	43,38				
	EPM	0,7	0,67	0,67	0,67				
	Valor P	0,185	0,346	0,421	0,132				
Lignina	20	6,43	6,19	5,31	5,61	5,89A	0,21	0,001	
	40	5,32	4,84	4,71	4,41	4,82B	0,21		
	60	3,79	5,05	4,81	5,01	4,66B	0,22		
	Média	5,18	5,36	4,94	5,01				
	EPM	0,26	0,24	0,24	0,24				
	Valor P	0,802	0,279	0,403	0,611				
CNF	20	43,93	43,09	43,24	42,6	43,21A	0,62	0,001	
	40	40,14	39,31	41,47	43,14	41,01B	0,62		
	60	37,01	39,44	40,74	41,23	39,60B	0,65		
	Média	40,35	40,61	41,81	42,32				
	EPM	0,76	0,72	0,72	0,72				
	Valor P	0,169	0,3	0,399	0,107				

Tabela 2 - Composição nutricional de silagens de sorgo submetidas a distintos períodos fermentativos e níveis de inoculante bacteriano.

								(conclusão)
AS	20	1,12	1,24	1,37	1,04	1,19A	0,076	<0,0001
	40	0,33	0,29	0,44	0,27	0,33B	0,076	
	60	0,69	0,26	0,38	0,19	0,38B	0,079	
	Média	0,71	0,60	0,73	0,50			
	EPM	0,09	0,08	0,08	0,08			
	Valor P	0,334	0,627	0,223	0,086			
EE	20	3,86	3,86	4	4,01	3,93A	0,03	<0,0001
	40	3,33	3,28	3,31	3,38	3,32B	0,03	
	60	3,32	3,25	3,31	3,37	3,31B	0,03	
	Média	3,5	3,46	3,54	3,59			
	EPM	0,04	0,03	0,03	0,03			
	Valor P	0,561	0,096	0,67	0,067			
NDT	20	56,01	55,71	56,53	56,56	56,20B	0,52	<0,0001
	40	60,53	60,73	61,39	61,21	60,96A	0,52	
	60	63,6	59,71	59,98	60,49	60,94A	0,54	
	Média	60,04	58,71	59,29	59,41			
	EPM	0,63	0,6	0,6	0,6			
	Valor P	0,221	0,221	0,892	0,926			
DFDN	20	18,88Ca	19,53Ba	19,48Ba	19,6Ba	19,37	0,52	0,02
	40	26,51Ba	27,03Aa	26,63Aa	24,63Aa	26,19	0,52	
	60	31,72Aa	26,68Ab	25,01Ab	25,51Ab	27,22	0,54	
	Média	25,7	24,41	23,7	23,24			
	EPM	0,63	0,6	0,6	0,6			
	Valor P							
Leite	20	937	926,5	942,7	949,5	938,9B	15,5	<0,0001
	40	1073,3	1074	1093,5	1093,3	1083,5A	15,5	
	60	1152,7	1044,5	1055	1072	1081A	16,1	
	Média	1054,3	1015	1030,4	1038,2			
	EPM	18,9	17,9	17,9	17,9			
	Valor P	0,228	0,219	0,795	0,811			

MM = Matéria mineral (%MS); PB = Proteína bruta (%MS); FDN = Fibra detergente neutro (%MS); Lignina (%MS); CNF = Carboidrato não fibroso (%MS); AS = Açúcares solúveis (%MS); EE = Extrato etéreo (%MS); NDT = Nutrientes digestíveis totais (%MS); DFDN = Digestibilidade do FDN em 30 horas de incubação (%FDN); Estimativa de produção de leite pelo MILK2006 por Shaver e Lauer (2006) (Kg leite/tonelada de MS);

<sup>A-C</sup>Médias com letras maiúsculas distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

<sup>a-b</sup>Médias com letras minúsculas distintas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

Tabela 3 - Dados meteorológicos de temperatura e precipitação, ocorridas durante o período experimental.

Meses	Temperatura (°C)	Precipitação (mm)
Janeiro	24,2	190,2
Fevereiro	23,7	90,8
Março	22,5	142,4
Abril	19,3	131,2
Mai	16,9	122,8

Fonte: INMET – Instituto Nacional de Meteorologia.

A digestibilidade do FDN apresentou interação significativa ( $P < 0,05$ ) entre períodos de estocagem e níveis de inoculante (Tabela 2). Durante o processo fermentativo, é esperada alguma degradação da hemicelulose, devido à hidrólise ácida e/ou ação enzimática de alguns microrganismos (MCDONALD et al., 1991), em pH baixo ao qual esse tipo de carboidrato é vulnerável, conforme demonstrado por Zhao et al. (2018). Sabe-se que a FDN é composta pela hemicelulose, além das frações presentes na FDA essas frações têm relação negativa com o consumo e a digestibilidade influenciando a DFDN. Sendo assim, silagens que apresentam menores frações fibrosas tendem a ter maior digestibilidade e consumo.

Essa questão é reforçada pela determinação dos níveis de lignina que é importante para compreender o uso da forragem pelo animal, que quanto menor, mais eficiente será o processo de degradação do alimento no rúmen (LIMA et al., 2017). Os teores de lignina foram menores para as silagens estocadas por mais tempo (Tabela 2), apresentando valores similares aos obtidos por Skonieski et al. (2010) com silagens de sorgo, de 5,22 e 4,83% de lignina para sorgo forrageiro e sorgo duplo propósito, respectivamente. Grant et al. (1995) e Dado & Allen (1996), alimentando vacas em lactação com silagens contendo teores similares de FDN e PB, porém diferente DFDN, observaram maior consumo de MS e produção de leite para vacas que consumiram silagens com maiores coeficientes de digestibilidade, conforme pode ser observado no presente estudo, onde foi possível estimar melhor produção de leite (1152,7 Kg/tonelada de MS) (Tabela 2) quando visualizado um maior coeficiente de DFDN. Além disso, um produto composto, contendo cepa de *L. buchneri*, que produz a enzima esterase de ácido ferúlico, mostrou melhoria *in situ* na DFDN, pois ela é capaz de quebrar as ligações entre a lignina e os carboidratos da parede celular (MUCK, 2010).

Os carboidratos não fibrosos (CNF) apresentaram diferença significativa apenas para os períodos de armazenamento ( $P < 0,05$ ), com menores médias em 40 e 60 dias, sem efeito da inoculação (Tabela 2). A redução dos CNF é considerada normal, haja vista que, os açúcares solúveis, que compõe esta fração, são utilizados pelos microrganismos presentes na silagem

para produção dos ácidos orgânicos (OLADOSU et al., 2016). Anjos et al. (2018) observaram menores teores de CNF em silagens inoculadas em relação as não tratadas. Altos teores de CNF estão associados à boa qualidade das forragens conservadas, pois esses são substratos que favorecem o processo fermentativo (MERTENS, 1987).

Outro componente dos CNF, o teor de amido, não foi influenciado pelos tratamentos ( $P>0,05$ ), com valor médio de 21,65%. No entanto, o teor de amido observado é considerado baixo, quando confrontado ao valor médio de amido em silagens de sorgo, de 30% na MS (FOX et al., 2004) e 23% na MS (FERNANDES et al., 2020), que também não observou influência da interação de período de estocagem e utilização de inoculante. Assim como a MM, a produção de amido, foi influenciada pela condição climática. O amido é o componente que pode representar a metade da energia contida nas silagens fornecidas ao rebanho leiteiro, sendo essencial para o aumento do potencial de produção de leite (FERRARETTO e SHAVER, 2012).

Os períodos de estocagem influenciaram ( $P<0,05$ ) os teores de açúcares solúveis, com menores teores nas datas de 40 e 60 dias (Tabela 2), e média de 0,63% da MS, estando dentro da faixa considerada por Hall (2000), de 0,3% a 4,6% da MS. O baixo valor encontrado no presente estudo, indica que os açúcares solúveis foram quase exauridos pelos microrganismos durante o processo fermentativo, sendo desejável para preservação adequada da forragem, o que contribui para os baixos valores de pH observados. Uma observação que ampara é a correlação entre os açúcares solúveis e o pH ( $r = 0,99$ ). Neste sentido é visível que os maiores valores de pH obtidos para as silagens estocadas por 20 dias coincidem com os maiores valores de açúcares solúveis.

Foi observado maior teor de extrato etéreo quando armazenadas por 20 dias, e sua redução com o decorrer do armazenamento (Tabela 2). Esse mesmo efeito foi observado em outro estudo analisando divergentes períodos de estocagem, que variaram de 0 a 360 dias, com redução no conteúdo dessa variável no transcorrer do tempo de armazenamento (HERRMANN et al., 2011). A maior concentração de EE em 20 dias é, provavelmente, consequência do efeito de diluição pela redução nos teores de MS (MUCK, 2013).

Ao avaliar os valores de nutrientes digestíveis totais (NDT) é possível constatar que houve diferença entre os períodos de estocagem ( $P<0,05$ ) sendo que, as maiores médias foram observadas para as datas de 40 e 60 dias (Tabela 2). Esse resultado pode ser explicado pela menor participação de compostos indigestíveis, como a lignina (Tabela 2), nestas datas. O valor médio obtido de NDT foi de 59,36%, abaixo do obtido por OTT et al. (2018), que

analisando silagem de 25 genótipos de sorgo, obtiveram valor médio de 65,12%, característica de silagens de boa qualidade.

Em termos de produção de leite, constatou-se que as estimativas de eficiência de produção de leite, ou seja, a quantidade de leite produzida por tonelada de MS foi significativamente maior com o incremento do período de estocagem ( $P < 0,05$ , Tabela 2). É possível visualizar ainda uma diferença de 12,5 Kg de leite, entre a silagem estocada por 20 dias sem adição e com a dosagem máxima de inoculante. Do ponto de vista de produção potencial de leite, pode-se inferir que o maior período de estocagem, resulta em maior produtividade de leite. Está relacionado com o aumento da MS e NDT e redução da lignina, observado neste estudo. Ao avaliar a produtividade de matéria seca por hectare (ha) e multiplicar pelas estimativas de produtividade de leite, depara-se com o seguinte cenário exposto na Tabela 4.

Tabela 4 - Estimativa da produtividade de leite por hectare, de silagens de sorgo submetidas a distintos períodos fermentativos e níveis de inoculante bacteriano.

Leite <sup>1</sup>	Doses				
	Datas	0	7,5	15	30
20	12.907	12.762	12.985	13.079	12.933
40	14.784	14.794	15.063	15.060	14.925
60	15.878	14.388	14.532	14.766	14.891
Média	14.523	13.981	14.193	14.302	

<sup>1</sup>Leite = Estimativa da produção de leite através do rendimento (produção por hectare) das silagens de sorgo.

Com a cultura do sorgo, no presente trabalho, foi possível obter em média 13.775 Kg/MS/ha de silagem. Analisando a biomassa obtida em 20 dias de estocagem, quando não utilizado o inoculante, a perda foi de 1.303 Kg/MS/ha, enquanto que, com a dose máxima de inoculante a perda foi reduzida para 199 Kg/MS/ha, resultando em uma diferença de 1.103,38 Kg/MS/ha a mais de silagem produzida com o uso deste aditivo. Esta diferença permitiu uma produção de mais 172 Kg de leite/ha. Considerando o custo da confecção da silagem e do uso do inoculante, precificação do leite, a obtenção de MS e a produção de leite, temos o seguinte cenário (Tabela 5).

Tabela 5 - Análise econômica de silagens de sorgo submetidas a distintos períodos fermentativos e níveis de inoculante bacteriano.

Variável	Data abertura / Dose inoculante			
	20/0	20/30	40/0	40/30
<sup>1</sup> Produtividade	45	45	45	45
<sup>2</sup> Custo inoculante	-	472,5	-	472,5
<sup>3</sup> Perdas	1303*	199**	1008,33***	221,77****
<sup>4</sup> Diferença de perdas	1103,38		786,56	
<sup>5</sup> Custo produção silagem	0,35	0,35	0,35	0,35
<sup>6</sup> Produção leite	12.907'	13.079''	14.784'''	15.060''''
<sup>7</sup> Diferença produção leite	172		276	
<sup>8</sup> Preço leite	2,30	2,30	2,30	2,30
<sup>9</sup> Retorno econômico	309,28		437,59	

<sup>1</sup>Tonelada de matéria verde por hectare; <sup>2</sup>Reais por hectare; <sup>3</sup>Kg de matéria seca por hectare; <sup>4</sup>Kg de matéria seca, valor resultante da subtração de \* por \*\*, \*\*\* por \*\*\*\*; <sup>5</sup>Kg de matéria seca; <sup>6</sup>Kg por hectare; <sup>7</sup>Kg, valor resultante da subtração de ' por '' e, ''' por ''''; <sup>8</sup>Reais; <sup>9</sup>Reais.

O cenário supracitado mostra a produtividade média de matéria verde de 45 ton/ha. O custo do inoculante por hectare foi de R\$ 472,50, utilizando 30 ml. A diferença de perdas devido a RMS em 20 dias do controle para dosagem máxima de inoculante foi de 1.103,38 Kg/MS/ha, e em produção de leite de 172 Kg. Considerando os 40 dias do controle para dosagem máxima de inoculante foi de 786,56 Kg/MS/ha, e em produção de leite de 276 Kg. Resultando em um retorno econômico de R\$ 309,28, quando armazenada por 20 dias com dosagem de 30 ml de inoculante, e de R\$ 437,59, quando armazenada por 40 dias com dosagem de 30 ml de inoculante.

Analisando economicamente, com a precificação do leite em R\$ 2,30 por litro e o custo da confecção da silagem em R\$ 0,35 por Kg/MS, podemos inferir que a utilização do inoculante em sua dosagem máxima em 20 e 40 dias, representa um benefício econômico, através da redução das perdas de material pela maior RMS e do retorno em produção de leite, gerando uma lucratividade ao produtor. Vale ressaltar que a utilização do inoculante é complementar ao processo de ensilagem, ele não é capaz de aumentar o valor nutricional da forrageira, mas atua na preservação da qualidade do material ensilado e redução das perdas de biomassa.

### 3.5 CONCLUSÃO

O aumento no tempo de estocagem altera o valor nutricional das silagens, elevando os níveis de N-NH<sub>3</sub> e FDN, bem como, reduzindo o teor de PB e lignina.

A produção potencial de leite por tonelada de MS de silagem produzida aumentou com o período de estocagem. Relacionado com o aumento da MS e NDT, e redução da lignina.

O valor nutricional e os parâmetros fermentativos das silagens apresentam o mesmo comportamento entre 40 e 60 dias de estocagem.

Os tratamentos avaliados não influenciam as perdas por produção de efluentes e gases, bem como os teores de ácido lático, amido e a fração FDA.

Considerando os valores de MS, pH, ácido acético, ácido butírico e N-NH<sub>3</sub>, as silagens de sorgo produzidas se enquadram como bem fermentadas. Indicando perdas mínimas, sem prejuízo significativo no valor nutricional, quando conservada.

O aumento na dosagem do inoculante permitiu aumentar a RMS, resultando em maior retorno econômico pela redução das perdas e incremento na produção de leite, o que viabiliza o custo do inoculante.

### 3.6 REFERÊNCIAS

ANJOS, G.V.S. et al. Effect of re-ensiling on the quality of sorghum silage. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 7, p. 6047-6054, 2018.

BERNARDES, T.F. et al. Silage review: Unique challenges of silages made in hot and cold regions. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 5, p. 4001-4019, 2018.

DADO, R.G.; ALLEN, M.S. Enhanced intake and production of dairy cows offered ensiled alfalfa with higher neutral detergent fiber digestibility. **Journal of Dairy Science**, n.3, v.79, p.418-428, 1996.

DEMANET, R. et al. Seasonal variation of the productivity and quality of permanent pastures in Andisols of temperate regions. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v.15, n.1, p.111-128, 2015.

DER BEDROSIAN, M.C. et al. The effects of hybrid, maturity, and length of storage on the composition and nutritive value of corn silage. **Journal of Dairy Science**, v. 95, n. 9, p. 5115-5126, 2012.

DRIEHUIS, F. et al. Silage review: animal and human health risks from silage. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 5, p. 4093-4110, 2018.

DULPHY, J. P.; DEMARQUILLY, C. Problèmes particuliers aux ensilages. In: DEMARQUILLY, C. (Ed.). **Prévision de la valeur nutritive des aliments des ruminants**. Paris: INRA publications, p. 81-104, 1981.

- ELLIS, J.L. et al. Effects of lactic acid bacteria silage inoculation on methane emission and productivity of Holstein Friesian dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 99, n. 9, p. 7159-7174, 2016.
- FERNANDES, T. et al. Influence of sorghum cultivar, ensiling storage length, and microbial inoculation on fermentation profile, N fractions, ruminal in situ starch disappearance and aerobic stability of whole-plant sorghum silage. **Animal Feed Science and Technology**, p. 114535, 2020.
- FERRARETTO, L.F.; SHAVER, R.D. Meta-analysis: Effect of corn silage harvest practices on intake, digestion, and milk production by dairy cows. **The Professional Animal Scientist**, v. 28, n. 2, p. 141-149, 2012.
- FERRARETTO, L.F. et al. Relationships between dry matter content, ensiling, ammonia-nitrogen, and ruminal in vitro starch digestibility in high-moisture corn samples. **Journal of Dairy Science**, v. 97, n. 5, p. 3221-3227, 2014.
- FOX, D.G. et al. The Cornell Net Carbohydrate and Protein System model for evaluating herd nutrition and nutrient excretion. **Animal Feed Science and Technology**, v. 112, n. 1-4, p. 29-78, 2004.
- GRANT, R.J. et al. Brown midrib sorghum silage for midlactation dairy cows. **Journal of Dairy Science**, n.9, v.78, p.1970-1980, 1995.
- GRISE, M.M. et al. Efeito do uso de inoculantes sobre o pH e a composição bromatológica da silagem de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). **Archives of Veterinary Science**, v. 11, n. 2, 2006.
- GUO, X.S. et al. Profiling of metabolome and bacterial community dynamics in ensiled *Medicago sativa* inoculated without or with *Lactobacillus plantarum* or *Lactobacillus buchneri*. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 1-10, 2018.
- HALL, M.B. Neutral detergent-soluble carbohydrates, nutritional relevance and analysis: a laboratory manual. Florida: University of Florida, 42 p, 2000.
- HENDERSON, N. Silage additives. **Animal Feed Science and Technology**, v. 45, n. 1, p. 35-56, 1993.
- HERRMANN, C. et al. Effects of ensiling, silage additives and storage period on methane formation of biogas crops. **Bioresource technology**, v. 102, n. 8, p. 5153-5161, 2011.
- JOBIM, C.C. et al. Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, suplemento especial, p.101-119, 2007.
- JUNGES, D. et al. Additive containing homo and heterolactic bacteria on the fermentation quality of maize silage. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, v. 35, n. 4, p. 371-377, 2013.
- KÖPPEN, W.; GEIGER, R. (1928). 'Klimate der Erde. Gotha: Verlag Justus Perthes', Wall-map.

- KUNG JR, L. et al. Silage additives. In: Buxton, D. R.; Muck, R. E.; Harrison, J. H. (Org.) **Silage Science and Technology**. Madison: American Society of Agronomy, p. 927, 2003.
- KUNG JR, L. et al. An evaluation of the effectiveness of a chemical additive based on sodium benzoate, potassium sorbate, and sodium nitrite on the fermentation and aerobic stability of corn silage. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 7, p. 5949-5960, 2018.
- LEÃO, G.F.M. et al. Nutritional composition and aerobic stability of winter cereal silage at different storage times. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 39, n. 2, p. 131-136, 2017.
- LIMA, L.O.B. et al. Agronomic traits and nutritional value of forage sorghum genotypes. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 39, n. 1, p. 7-12, 2017.
- MACÊDO, A.J.S. et al. Microbiologia de silagens: Revisão de Literatura. REDVET. **Revista Eletrônica de Veterinária**, v. 18, n. 9, p. 1-11, 2017.
- MCDONALD, P. et al. **Biochemistry of Silage**. 2.ed. Marlow: Chalcombe, p.340, 1991.
- MERTENS, D.R. Predicting intake and digestibility using mathematical models of ruminal function. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 64, n. 5, p. 1548-1558, 1987.
- MINITAB STATISTICAL SOFTWARE – MSS. Release 17.1 for Windows. Minitab Inc. State College, PA, USA; 2017.
- MUCK, R. Recent advances in silage microbiology. **Agricultural and Food Science**, v. 22, n. 1, p. 3-15, 2013.
- MUCK, R.E. Silage microbiology and its control through additives. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 183-191, 2010.
- 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.
- NAEINI, S.Z. et al. Influence of ensiling time on chemical composition, fermentation characteristics, gas production and protein fractions of sweet sorghum silage. **Research Opinions in Animal and Veterinary Sciences**, v. 4, n. 6, p. 286-293, 2014.
- NEUMANN, M. et al. Avaliação do valor nutritivo da planta e da silagem de diferentes híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor*, L. Moench). **Revista Brasileira de Zootecnia**, suplemento especial, v.31, n.1, p.293-301, 2002.
- NEUMANN, M. et al. Sealing type effect on corn silage quality in bunker silos. **Ciência Rural**, v. 47, n. 5, 2017.
- OLADOSU, Y. et al. Fermentation quality and additives: a case of rice straw silage. **BioMed Research International**, p.1-14. 2016.
- OTT, L.C. et al. Composição química e valor nutritivo da silagem de genótipos de sorgo. **Revista Eletrônica de Veterinária**. Embrapa Clima Temperado. 2018.

- PAHLOW, G. et al. Microbiology of ensiling. **Silage Science and Technology**, v. 42, p. 31-93, 2003.
- PERAZZO, A.F. et al. Agronomic evaluation of sorghum hybrids for silage production cultivated in semiarid conditions. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 1088, 2017.
- PINO, F.; HEINRICHS, A.J. Sorghum forage in precision-fed dairy heifer diets. **Journal of Dairy Science**, v. 100, n. 1, p. 224-235, 2017.
- QUEIROZ, O.C.M. et al. Effects of 8 chemical and bacterial additives on the quality of corn silage. **Journal of Dairy Science**, v. 96, n. 9, p. 5836-5843, 2013.
- RAHMAN, A.N. et al. Determination of the use of *Lactobacillus plantarum* and *Propionibacterium freudenreichii* application on fermentation profile and chemical composition of corn silage. **BioMed Research International**, v. 2017, 2017.
- RESTELATTO, R. et al. Chemical composition, fermentative losses, and microbial counts of total mixed ration silages inoculated with different *Lactobacillus* species. **Journal of Animal Science**, v. 97, n. 4, p. 1634-1644, 2019.
- RODRIGUES, P.H.M. et al. Efeitos da adição de inoculantes microbianos sobre a composição bromatológica e perfil fermentativo da silagem de sorgo produzida em silos experimentais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 6, p. 2373-2379, 2002.
- RODRIGUES, P.H.M. et al. Sorghum silage quality as determined by chemical–nutritional factors. **Grass and Forage Science**, v. 75, n. 4, p. 462-473, 2020.
- ROLAS, Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solo e de Tecido Vegetal. ‘Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina’, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, ed.10, p. 400, 2004.
- SANTIN, T. P. et al. Fermentative characteristics and chemical composition of sorgho silage (*Sorghum bicolor*) with use of absorbents additives. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 54931-54943, 2020.
- SARICICEK, B.Z. et al. Effect of storage time on nutrient composition and quality parameters of corn silage. **Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology**, v. 4, n. 11, p. 934-939, 2016.
- SHAVER, R.D.; LAUER, J.G. Review of Wisconsin corn silage milk per ton models. **Journal of Dairy Science**. p.282. 2006.
- SILVA, I.R. et al. Nutritive value of sugarcane silages with different bacterial additives and fermentation periods. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 21, 2020.
- SIQUEIRA, G.R. et al. Perdas de silagens de cana-de-açúcar tratadas com aditivos químicos e bacterianos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n. 6, p. 2000-2009, 2007.

- SKONIESKI, F.R. et al. Produção, caracterização nutricional e fermentativa de silagens de sorgo forrageiro e sorgo duplo propósito. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 32, n. 1, p. 27-32, 2010.
- TABACCO, E. et al. 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**, v. 94, n. 3, p. 1409-1419, 2011.
- TOLENTINO, D.C. et al. The quality of silage of different sorghum genotypes. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 38, n. 2, p. 143-149, 2016.
- UDÉN, P. Fresh and ensiled forage plants - total composition, silage losses and the prediction of silage composition from the crop. **Grass and Forage Science**, v. 73, n. 2, p. 420-431, 2018.
- VAN SOEST, P.J. **Nutritional Ecology of the Ruminant**. Comstock Publ. Assoc. Ithaca, Cornell University, p.476, 1994.
- VAN SOEST, P.J. Symposium on factors influencing the voluntary intake of herbage by ruminants: voluntary intake in relation to chemical composition and digestibility. **Journal of Animal Science**, v. 24, n. 3, p. 834-843, 1965.
- VERIATO, F.T. Fermentation characteristics and nutritive values of sorghum silages. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 40, 2018.
- VIEIRA, F.A.P. et al. Qualidade de silagens de sorgo com aditivos. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 56, n. 6, p. 764-772, 2004.
- WOOLFORD, M.K. **The silage fermentation**. Marcel Dekker, Inc., 1984.
- YITBAREK, M.B.; TAMIR, B. Silage additives. **Open Journal of Applied Sciences**, v. 2014, 2014.
- YUAN, X.J. et al. The effect of different additives on the fermentation quality, in vitro digestibility and aerobic stability of a total mixed ration silage. **Animal Feed Science and Technology**, v. 207, p. 41-50, 2015.
- ZAGO, C.P. Cultura de sorgo para a produção de silagem de alto valor nutritivo. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE BOVINOS, 4., 1991, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, p.169-213. 1991.
- ZHAO, J. et al. Ensiling as pretreatment of rice straw: the effect of hemicellulase and *Lactobacillus plantarum* on hemicellulose degradation and cellulose conversion. **Bioresource Technology**, v. 266, p. 158-165, 2018.
- ZOPOLLATTO, M. et al. Aditivos microbiológicos em silagens no Brasil: revisão dos aspectos da ensilagem e do desempenho de animais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. spe, p. 170-189, 2009.

## REFERÊNCIAS

- ANJOS, G.V.S. et al. Effect of re-ensiling on the quality of sorghum silage. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 7, p. 6047-6054, 2018.
- ATLAS SOCIOECONÔMICO DO RIO GRANDE DO SUL. Leite. 3ª Edição, 15 de maio de 2018. Disponível em: <<http://www.atlassocioeconomico.rs.gov.br/leite>>. Acesso em: 20 de maio de 2020.
- BATISTA, G.N. et al. Storage time of the evaluation and composition of silage of colostrum two dairy breeds: Girolando and Jersey. **Scientific Electronic Archives**, v.97, n.3, p. 10-16, 2016.
- BERNARDES, T.F.; RÊGO, C. Study on the practices of silage production and utilization on Brazilian dairy farms. **Journal of Dairy Science**, v. 97, n. 3, p. 1852-1861, 2014.
- BERNARDES, T.F. et al. Silage review: Unique challenges of silages made in hot and cold regions. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 5, p. 4001-4019, 2018.
- BLAJMAN, J.E. et al. A meta-analysis on the effectiveness of homofermentative and heterofermentative lactic acid bacteria for corn silage. **Journal of Applied Microbiology**, v. 125, n. 6, p. 1655-1669, 2018.
- BORBA, L.F.P. et al. Nutritive value of diferents silage sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) cultivares. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 34, n. 2, p. 123-129, 2012.
- BORGHI, E. et al. Sorghum grain yield, forage biomass production and revenue as affected by intercropping time. **European Journal of Agronomy**. v. 51, p. 130-139, 2013.
- BORREANI, G.; TABACCO, E. The relationship of silage temperature with the microbiological status of the face of corn silage bunkers. **Journal of Dairy Science**, v. 93, n. 6, p. 2620-2629, 2010.
- BUSO, W.H.D. et al. Utilização do sorgo forrageiro na alimentação animal. **Pubvet**, Londrina, V. 5, N. 23, Ed. 170, Art. 1145, 2011.
- CARVALHO, G.R. et al. Indicadores: Leite e Derivados. Ano 9, n. 85 (Dezembro/2018) – Juiz de Fora-MG: Embrapa Gado de Leite, 2018. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/188342/1/Indicadores-leite-85-dez.pdf>> Acesso em 20 de maio de 2020.
- DEMANET, R. et al. Seasonal variation of the productivity and quality of permanent pastures in Andisols of temperate regions. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v.15, n.1, p.111-128, 2015.
- DER BEDROSIAN, M.C. et al. The effects of hybrid, maturity, and length of storage on the composition and nutritive value of corn silage. **Journal of Dairy Science**, v. 95, n. 9, p. 5115-5126, 2012.

- DESTA, S.T. et al. Ensiling characteristics, structural and nonstructural carbohydrate composition and enzymatic digestibility of Napier grass ensiled with additives. **Bioresource Technology**, v. 221, p. 447-454, 2016.
- DUNIÈRE, L. et al. Silage processing and strategies to prevent persistence of undesirable microorganisms. **Animal Feed Science and Technology**, v. 182, n. 1-4, p. 1-15, 2013.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Reunião Técnica Anual da Pesquisa do Milho. Indicações técnicas para o cultivo de milho e de sorgo no Rio Grande do Sul: safras 2017/2018 e 2018/2019 / LXII Reunião Técnica Anual da Pesquisa do Milho; XLV Reunião Técnica Anual da Pesquisa do Sorgo**, Sertão, RS, 17 a 19 de julho de 2017. – Brasília, DF: Embrapa, 2017.
- FERNANDES, F.E.P. et al. Ensilagem de sorgo forrageiro com adição de ureia em dois períodos de armazenamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 11, p. 2111-2115, 2009.
- FERNANDES, G.F. et al. Potencial de espécies forrageiras para produção de silagem: revisão de literatura. **Revista Eletrônica Nutritime**, v.13, n.3, p.4652-4656, 2016.
- FERNANDES, T. et al. Influence of sorghum cultivar, ensiling storage length, and microbial inoculation on fermentation profile, N fractions, ruminal in situ starch disappearance and aerobic stability of whole-plant sorghum silage. **Animal Feed Science and Technology**, p. 114535, 2020.
- FERRARETTO, L.F. et al. Relationships between dry matter content, ensiling, ammonia-nitrogen, and ruminal in vitro starch digestibility in high-moisture corn samples. **Journal of Dairy Science**, v. 97, n. 5, p. 3221-3227, 2014.
- FERREIRA, J.J. Estágio de maturação ideal para ensilagem do milho e do sorgo. In: Cruz, J. C.; Pereira Filho, I. A.; Rodrigues, J. A. S.; Ferreira, J. J. (Org.). Produção e utilização de silagem de milho e sorgo. Sete Lagoas: **Embrapa Milho e Sorgo**, 541 p. 2001.
- FRANÇA, A.M.S. et al. Dinâmica química, microbiológica e física da silagem de farelo úmido de glúten de milho. **Ciência Rural**, v. 45, n. 4, p. 684-689, 2015.
- GETACHEW, G. et al. Potential of sorghum as an alternative to corn forage. **American Journal of Plant Sciences**, v.7, p.1106-1121, 2016.
- HENDERSON, N. Silage additives. **Animal Feed Science and Technology**, v. 45, n. 1, p. 35-56, 1993.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento Sistemático da produção agrícola. Junho, 2020.
- ÍTAVO, C.C.B.F. et al. Padrão de fermentação e composição química de silagens de grãos úmidos de milho e sorgo submetidas ou não a inoculação microbiana. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.3, p.655-664, 2006.

- JOBIM, C.C. et al. Presença de microrganismos na silagem de grãos úmidos de milho ensilado com diferentes proporções de sabugo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, n. 2, p. 201-204, 1997.
- JOBIM, C.C. et al. Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, suplemento especial, p.101-119, 2007.
- JUNGES, D. et al. Additive containing homo and heterolactic bacteria on the fermentation quality of maize silage. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, v. 35, n. 4, p. 371-377, 2013.
- JUNGES, D. et al. Influence of various proteolytic sources during fermentation of reconstituted corn grain silages. **Journal of Dairy Science**, v. 100, n. 11, p. 9048-9051, 2017.
- KANGAMA, C.O.; RUMEI, X. Introduction of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) into China. **African Journal of Biotechnology**, v. 4, n. 7, 2005.
- KIM, D. et al. Role of LAB in silage fermentation: Effect on nutritional quality and organic acid production—An overview [J]. **AIMS - Agriculture and Food**, v. 6, n. 1, p. 216-234, 2021.
- KLEIN, J.L. et al. Desempenho produtivo de híbridos de milho para produção de silagem de planta inteira. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 17, p. 101-110, 2018.
- KUNG JR, L. et al. Silage additives. In: Buxton, D. R.; Muck, R. E.; Harrison, J. H. (Org.) **Silage Science and Technology**. Madison: American Society of Agronomy, p. 927, 2003.
- KUNG JR. L. The effects of length of storage on the nutritive value and aerobic stability of silages. In: DANIEL, J.L.P.; SANTOS, M.C.; NUSSIO, L.G. (Ed.). **International Symposium On Forage Quality And Conservation**, 3. July 22-23, 2013. Campinas. Proceeding. Campinas, p. 7-19. 2013.
- KUNG JR, L. et al. Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 5, p. 4020-4033, 2018.
- LEÃO, G.F.M. et al. Nutritional composition and aerobic stability of winter cereal silage at different storage times. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 39, n. 2, p. 131-136, 2017.
- MACÊDO, A.J.S. et al. Microbiologia de silagens: Revisão de Literatura. REDVET. **Revista Electrónica de Veterinaria**, v. 18, n. 9, p. 1-11, 2017.
- MACÊDO, A.J.S. SANTOS, E.M. Princípios básicos para produção de silagem. **Arquivos de Ciências Veterinárias e Zootecnia**, UNIPAR, v. 22, n. 4, 2019.
- MAGALHÃES, P.C.; DURAES, F.O.M.; SCHAFFERT, R.E. Fisiologia da planta de sorgo. **Embrapa Milho e Sorgo**. Circular técnica 3.p.46. Sete Lagoas, MG. 2000.
- MAY, A. et al. Cultivares de sorgo para o mercado brasileiro na safra 2011/2012. Documentos, 1ª edição, p.28. **Embrapa Milho e Sorgo**. Sete Lagoas, MG. 2011.
- MCDONALD, P. et al. **Biochemistry of Silage**. 2.ed. Marlow: Chalcombe, p.340, 1991.

MEINERZ, G.R. et al. Silagem de cereais de inverno submetidos ao manejo de duplo propósito. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, n.10, p.2097-2104, 2011.

MEEKS, R. The effect of a lactic acid bacterial inoculant with enzymes on the fermentation dynamics, intake and digestibility of *Digitaria eriantha* silage. **Animal Feed Science and Technology**, v.81, p.237-248, 1999.

MENEZES, C B. et al. Adaptabilidade e estabilidade de linhagens de sorgo em ambientes com e sem restrição hídrica. **Embrapa Meio-Norte-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2015.

MUCK, R.E. Factors influencing silage quality and their implications for management. **Journal of Dairy Science**, v.71, n.11, p. 2992-3002, 1988.

MUCK, R.E. Silage microbiology and its control through additives. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 183-191, 2010.

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.

NAEINI, S.Z. et al. Influence of ensiling time on chemical composition, fermentation characteristics, gas production and protein fractions of sweet sorghum silage. **Research Opinions in Animal and Veterinary Sciences**, v. 4, n. 6, p. 286-293, 2014.

NASCIMENTO, M.C.O. et al. Armazenamento de forragem para caprinos e ovinos no semiárido do nordeste. **Agropecuária Científica do Semiárido**, v. 9, p. 20-27, 2013.

NASCIMENTO, W.G. et al. Valor alimentício das silagens de milho e de sorgo e sua influência no desempenho de vacas leiteiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, p. 896-904, 2008.

NERES, M.A. et al. Microbiological profile and aerobic stability of Tifton 85 bermudagrass silage with different additives. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 42, n. 6, p. 381-387, 2013.

NEUMANN, M. et al. Avaliação do valor nutritivo da planta e da silagem de diferentes híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor*, L. Moench). **Revista Brasileira de Zootecnia**, suplemento especial, v.31, n.1, p.293-301, 2002.

NEUMANN, M. et al. Aditivos químicos utilizados em silagens. **Pesquisa aplicada & Agrotecnologia**. 3(2):187-195, 2010.

NEUMANN, M. et al. Sealing type effect on corn silage quality in bunker silos. **Ciência Rural**, v. 47, n. 5, 2017.

NOVAES, L.P. et al. Silagens: oportunidades e pontos críticos. **Embrapa Gado de Leite**. Comunicado Técnico (INFOTECA-E), 2004.

OGUNADE, I.M. et al. Control of *Escherichia coli* O157:H7 in contaminated alfalfa silage: Effects of silage additives. **Journal of Dairy Science**, v.99, n.6, p.4427-4436, 2016.

OLADOSU, Y. et al. Fermentation quality and additives: a case of rice straw silage. **BioMed Research International**, p.1-14. 2016.

OLIVEIRA, A.S. et al. Meta-analysis of effects of inoculation with homofermentative and facultative heterofermentative lactic acid bacteria on silage fermentation, aerobic stability, and the performance of dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 100, n. 6, p. 4587-4603, 2017.

OTT, L.C. et al. Composição química e valor nutritivo da silagem de genótipos de sorgo. **Revista Eletrônica de Veterinária**. Embrapa Clima Temperado. 2018.

ÖZDÜVEN, M.L. et al. The effects of lactic acid bacterial inoculants on the fermentation and aerobic stability of sunflower silage. **Journal of Tekirdag Agricultural Faculty**, v.14, n.2, p.1-7, 2017.

PAHLOW, G. et al. Microbiology of ensiling. **Silage Science and Technology**, v. 42, p. 31-93, 2003.

PERAZZO, A.F. et al. Agronomic evaluation of sorghum hybrids for silage production cultivated in semiarid conditions. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 1088, 2017.

PINO, F.; HEINRICHS, A.J. Sorghum forage in precision-fed dairy heifer diets. **Journal of Dairy Science**, v. 100, n. 1, p. 224-235, 2017.

PIRES, D.A.A. et al. Características das silagens de cinco genótipos de sorgo cultivados no inverno. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 12, n. 1, p. 68-77, 2013.

QUEIROZ, O.C.M. et al. Effects of 8 chemical and bacterial additives on the quality of corn silage. **Journal of Dairy Science**, v. 96, n. 9, p. 5836-5843, 2013.

RABELO, C.H.S. et al. Silagens de milho inoculadas microbiologicamente em diferentes estádios de maturidade: perdas fermentativas, composição bromatológica e digestibilidade in vitro. **Ciência Rural**, v.44, n.2, p.368-373, 2014.

RIBAS, P.M. Sorgo: introdução e importância econômica. **Embrapa Milho e Sorgo**. Documentos, 26. p.16. Sete Lagoas, MG. 2003.

RAHMAN, A.N. et al. Determination of the use of *Lactobacillus plantarum* and *Propionibacterium freudenreichii* application on fermentation profile and chemical composition of corn silage. **BioMed Research International**, v. 2017, 2017.

RIBEIRO, C.G.M. et al. Padrão de fermentação da silagem de cinco genótipos de sorgo. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 59, n. 6, p. 1531-1537, 2007.

RODRIGUES, J.A.S. Cultivo do sorgo. **Embrapa Milho e Sorgo**. Sistemas de produção. EMBRAPA, 2. 9ª edição. Julho, 2015.

SANTOS, M.V.F. et al. Fatores que afetam o valor nutritivo da silagens de forrageiras tropicais. **Archivos de Zootecnia**, v.59, n.232, p. 25-43, 2010.

SANTOS, M.C.; KUNG JR, L. The effects of dry matter and length of storage on the composition and nutritive value of alfalfa silage. **Journal of Dairy Science**, v. 99, n.7, p. 5466-5469, 2016.

SARICICEK, B.Z. et al. Effect of storage time on nutrient composition and quality parameters of corn silage. **Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology**, v.4, n.11, p. 934-939, 2016.

SILVA, G.M. et al. Fatores anti-qualitativos em silagens. **Pubvet**, v.9, p. 502-557, 2015a.

SILVA, J.M. et al. Influência de inoculante bacteriano-enzimático sobre a microbiota e qualidade nutricional de silagens de grãos úmidos de milho. **Ciência Animal Brasileira**, v.11, n.1, p. 62-72, 2010.

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

SILVA, T.C. et al. Divergence of the fermentative and bromatological characteristics of 25 sorghum hybrid silages. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 41, n. 5, p. 1127-1133, 2012.

SILVA, V.P. et al. Effects of lactic acid bacteria with bacteriocinogenic potential on the fermentation profile and chemical composition of alfalfa silage in tropical conditions. **Journal of Dairy Science**, v.99, n.3, p.1895-1902, 2016.

SKONIESKI, F.R. et al. Produção, caracterização nutricional e fermentativa de silagens de sorgo forrageiro e sorgo duplo propósito. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 32, n. 1, p. 27-32, 2010.

THOMAS, M.E. et al. Nutritive value, fermentation characteristics, and in situ disappearance kinetics of sorghum silage treated with inoculants. **Journal of Dairy Science**. v.96, n.11, p. 7120–7131, 2013.

TOLENTINO, D.C. et al. The quality of silage of different sorghum genotypes. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 38, n. 2, p. 143-149, 2016.

VAN SOEST, P.J. **Nutritional Ecology of the Ruminant**. Comstock Publ. Assoc. Ithaca, Cornell University, p.476, 1994.

VIEIRA, V.C. et al. Caracterização bromatológica de silagens de milho de genótipos super precoce. **Ciência Rural**, v. 43, n. 11, p. 1925-1931, 2013.

VON PINHO, R.G. et al. Produtividade e qualidade da silagem de milho e sorgo em função da época de semeadura. **Bragantia**, v. 66, n. 2, p. 235-245, 2007.

WEINBERG, Z.G.; CHEN, Y. Efeitos do período de armazenamento na composição de silagens de trigo e milho. **Animal Feed Science and Technology**, v. 185, n. 3-4, pág. 196-200, 2013.

WEINBERG, Z.G.; MUCK, R.E. New trends and opportunities in the development and use of inoculants for silage. **FEMS Microbiology Reviews**, Haren, v. 19, n. 3, p. 53-68, 1996.

WILKINSON, J.M.; DAVIES, D.R. A estabilidade aeróbia da silagem: principais descobertas e desenvolvimentos recentes. **Grass and Forage Science**, v. 68, n. 1, pág. 1-19, 2012.

WILKINSON, J.M.; RINNE, M. Highlights of progress in silage conservation and future perspectives. **Grass and Forage Science**, v. 73, n. 1, p. 40-52, 2018.

YITBAREK, M.B.; TAMIR, B. Silage additives. **Open Journal of Applied Sciences**, v. 2014, 2014.

ZOPOLLATTO, M. et al. Aditivos microbiológicos em silagens no Brasil: revisão dos aspectos da ensilagem e do desempenho de animais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. spe, p. 170-189, 2009.